

No. 34, 2003

nucleus

ISBN 0864-084X

Publicación semestral

Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada en Cuba

Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

En éste número:

**Servicio Científico-Técnico
de Irradiación**

SUMARIO

PANORAMA NUCLEAR

Servicio científico-técnico de irradiación

Enrique Fco. Prieto Miranda, Gisela Barrera González, Mercedes Guerra Torres, Leonor Mora López, Sonia Altanés Valentín, Manuel Rapado Paneque, Manuel Plasencia Gutiérrez 4

Proceso de acreditación por la NC-ISO/IEC 17025:00 de los principales laboratorios del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones

Mariela Marrero García, Daniel Molina Pérez, Isis María Fernández Gómez, Gonzalo Walwyn Salas 8

CIENCIAS NUCLEARES

Comparación de la medición de actividad de ^{131}I , ^{201}Tl y $^{99\text{m}}\text{Tc}$ en activímetros

Pilar Oropesa Verdecia, Aerulio T. Hernández Rivero, Rolando A. Serra Águila, Ernesto Martínez Herrera, Consuelo Varela Corona 12

Empleo de trazadores en la obtención de modelos de calidad de agua en el río Almendares

Judith Domínguez Catasús, Jorge Borroto Portela, Anel Hernández Garcés, Esperanza Pérez Machado 20

Comparación del comportamiento químico de AcMs humanizado vs. IgG humana radiomarcados con $^{99\text{m}}\text{Tc}$

Alejandro Rivero Santamaría, Francisco I. Zayas Crespo, Niurka Mesa Dueñas, Adolfo J. Castillo Vitloch 31

INNOVACION TECNOLÓGICA

Puesta en operación del sistema generador de ultra altas frecuencias del microtrón MT-25

Luis Cimino Quiñones, Rolando Guibert Gala, Juan Fco. Zúñiga Santana, Doris Rivero Ramírez, Felix Mas Milián, Alberto Rolo Naranjo; Colectivo de autores 37

Captador de Yodo Acoplado a PC destinado al Sistema Nacional de Salud

Eduardo Arista Romeu, Dolores Alonso Abad, Raúl Arteché Díaz 44

Desarrollo de un analizador multicanal utilizando una tarjeta con procesador de señales digitales

Maikel Díaz Castro, Doris Rivero Ramírez, Neivy López Pino 50

VIII Olimpiada Iberoamericana de Física 55

Revistas nucleares de impacto 57

Instrucciones a los autores 58

CONSEJO EDITORIAL

Doctor Juan Cárdenas Herrera, Doctor en Ciencias Físicas Luis Felipe Desdín García, Master en Ciencias Físico-Matemáticas Manuel Fernández Rondón, Doctor en Ciencias Biológicas Omar García Lima, Doctor en Ciencias Químicas José Morín Zorrilla, Master en Ingeniería Nuclear Ramón Rodríguez Cardona, Doctor en Ciencias Ramón B. Pomés Hernández, Master en Ciencias Yolanda Pérez Reyes.

Director: Manuel Fernández Rondón / **Editor Jefe:** Jorge Alvarado Cartaya / **Redactor Técnico:** Marta Contreras Izquierdo / **Edición:** Dulce María García Medina / **Diseño:** Marietta Fernández Martín / **Composición:** Magaly Cruz Jorge / **Traducción:** Lázaro O'Farrill Lazo / **Referencias:** Katia González Sánchez / **Fotomecánica:** Alain Ciérvides Sánchez / **Producción:** Adolfo Estévez González, Ricardo Gavilla Moreno / **Encuadernación:** María Cristina Herrera Rosell / **Canje:** Iraida Oviedo Rivero.

Revista arbitrada. Referenciada en la Base de Datos INIS.

Publicación semestral de la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA).

Edición e Impresión: Cubaenergía / Calle 20 No. 4111-4113 e/ 18A y 47, Playa, Ciudad de La Habana, Cuba, CP 11300/ Apartado Postal 6317 y 6318 / Tel.: (537)2027527 / Fax: (537)204 1188 / c.e.: nucleus@cubaenergía.cu

Inscripta como impreso periódico. **Registro Nacional de Publicaciones Seriadadas No. 0061.** Inscripta en la Dirección de Correos y Telégrafos con el No. 94021/184.

SUMMARY

NUCLEAR OUTLOOK

Radiation technician-scientist service

Enrique Fco. Prieto Miranda, Gisela Barrera González, Mercedes Guerra Torres, Leonor Mora López, Sonia Altanés Valentín, Manuel Rapado Paneque, Manuel Plasencia Gutiérrez 4

NC-ISO/IEC17025:00 accreditation process of CPHR`S main laboratories

Mariela Marrero García, Daniel Molina Pérez, Isis María Fernández Gómez, Gonzalo Walwyn Salas 8

NUCLEAR SCIENCES

Comparisons of ^{131}I , ^{201}Tl y $^{99\text{m}}\text{Tc}$ and 99MTC activity measurements in activimeters

Pilar Oropesa Verdecia, Aerulio T. Hernández Rivero, Rolando A. Serra Águila, Ernesto Martínez Herrera, Consuelo Varela Corona 12

Use of tracer to calibrate water quality models in the river Almendares

Judith Domínguez Catasús, Jorge Borroto Portela, Anel Hernández Garcés, Esperanza Pérez Machado 20

Comparison of the chemical behavior of humanized AcMs vs. human IgG radiolabeled with $^{99\text{m}}\text{Tc}$

Alejandro Rivero Santamaría, Francisco I. Zayas Crespo, Niurka Mesa Dueñas, Adolfo J. Castillo Vitloch 31

TECHNOLOGY INNOVATION

Start-up of the microtron MT-25 ultra-high frequencies generator

Luis Cimino Quiñones, Rolando Guibert Gala, Juan Fco. Zúñiga Santana, Doris Rivero Ramírez, Felix Mas Milián, Alberto Rolo Naranjo; and other authors 37

PC based thyroid uptake system for the National Health System

Eduardo Arista Romeu, Dolores Alonso Abad, Raúl Arteche Díaz 44

Development of a multichannel analyzer using a data acquisition card with digital signal processor

Maikel Díaz Castro, Doris Rivero Ramírez, Neivy López Pino 50

The 8th Iberoamerican Physics Olympic Game 55

Highly rated nuclear journals (impact factor ratings) 56

Information for authors 57

SERVICIO CIENTÍFICO-TÉCNICO DE IRRADIACIÓN

Enrique Fco. Prieto Miranda, Gisela Barrera González, Mercedes Guerra Torres, Leonor Mora López,
Sonia Altanés Valentín, Manuel Rapado Paneque, Manuel Plasencia Gutiérrez
Centro de Tecnologías Aplicadas y Desarrollo Nuclear (CEADEN)
Calle 30, No. 502, Esq. 5ª Avenida, Playa, Ciudad de La Habana, Cuba

Resumen

El Servicio de Irradiación forma parte de los servicios científico-técnicos especializados del Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear, y pertenece al Departamento de Radiobiología. Dispone de un irradiador de laboratorio autoblandado, tipo PX- γ -30 con fuentes de cobalto 60, destinado para estudios investigativos tanto básicos como aplicados en diferentes ramas de la ciencia como la radiobiología, la química de las radiaciones, la física del estado sólido, la medicina, la agricultura y la industria médico-farmacéutica, además de ofrecer el servicio propiamente dicho, con el cual se han obtenido resultados económicos significativos. El proceso de irradiación se controla mediante los sistemas dosimétricos Fricke, sulfato cérico-ceroso, Perspex (Red, Clear y Amber) e indicadores de dosis.

RADIATION TECHNICIAN-SCIENTIST SERVICE

Abstract

The Irradiation Service is part of the specialized technician-scientist services of the Center of Technological Applications and Nuclear Development it belonging to the Radiobiological Department. It provides a self-shielded laboratory irradiador, PX- γ -30 type with Cobalt 60 sources, it destined for research studies, so much basic as applying, in several branches of the science like the radiobiology, the radiation chemistry, the solid state physics, the medicine, the agriculture and the Pharmaceutical-Medical Industry and besides offering the irradiation service properly with the which have been gotten significant economical outputs. The radiation processing is controlled by means of the dosimetric systems of Fricke, ceric-cerous sulfate, Perspex (Red, Clear and Amber) and dose indicators.

Palabras clave: *cobalt 60, gamma radiation, gamma sources, irradiation plants, radiation doses, irradiation procedures, economic impact*

INTRODUCCIÓN

El Servicio de Irradiación del Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear tiene entre sus objetivos contribuir al incremento de los ingresos del centro y satisfacer las necesidades de irradiación relacionadas con diferentes proyectos de investigación, lo que permite la extensión de la aplicación de esta tecnología a nuevos productos y materiales.

La instalación de irradiación está constituida por un irradiador autoblandado para la irradiación gamma denominado Irradiador (PX- γ -30), puesto en marcha en junio de 1994 con una actividad inicial de 10,5 kCi. Por otra parte el diseño de la instalación garantiza una protección segura contra las radiaciones gamma y se puede ubicar dentro del local de un laboratorio el cual cumple con las exigencias constructivas para el montaje del equipo [1].

El proceso de irradiación forma parte del conjunto de las tecnologías nucleares, y tiene una amplia aplicación industrial en la esterilización de material médico y en la reticulación de polímeros.

Comparado con otros métodos de tratamiento convencionales como son la esterilización o descontaminación de productos de uso médico, la conservación de alimentos y el tratamiento cuarentenario de frutas y vegetales ofrece ventajas como: es un proceso frío, se puede controlar con facilidad, tiene gran poder de penetración (se puede aplicar a productos en su empaque final), no incorpora residuos tóxicos al producto, es adecuado para una gran variedad de productos y es operacionalmente seguro desde el punto de vista ambiental.

La tecnología de irradiación está clasificada actualmente en tres grupos: tecnologías establecidas, nuevas tecnologías de radiación y

tecnologías en desarrollo [2]. El mayor porcentaje de ejecución del Servicio de Irradiación se encuentra en el primer grupo de clasificación.

Durante el año 2001 este servicio se ofreció a 10 centros pertenecientes al Polo Científico, hospitales y otras instituciones de investigación del país, no así a un número mayor de centros por falta de capacidad productiva. Los valores de dosis absorbida más solicitados por los clientes fue superior a los 10 kGy hasta un valor máximo de 25 kGy. Además, se realizaron todas las irradiaciones correspondientes a los diferentes proyectos de investigación del Departamento de Radiobiología, así como a dos tesis de grado de otros departamentos del centro.

Las técnicas dosimétricas empleadas tanto en la calibración como el control del proceso de irradiación son realizadas sobre normas ramales nacionales y de la American Society of Testing and Materials (ASTM).

Este servicio tiene establecido un sistema de aseguramiento de la calidad para su ejecución desde el año 1996. En la actualidad se encuentra implementado el sistema de calidad por la Norma Cubana COPANT-ISO 9002:199, y se trabaja para su futuro establecimiento por la Norma ISO 9000:2000.

Instituciones que han recibido el Servicio de Irradiación

El servicio dispone de una instalación de irradiación que permite diferentes regímenes de trabajo por lo que los clientes pertenecen a un amplio sector de la vida social. Ellos son:

- Hospital Ortopédico Frank País
- BIOCEN
- Centro de Histoterapia Placentaria
- Clínica Central Cira García
- Centro de Inmunología Molecular
- Estación Experimental Indio Hatuey (Matanzas)
- INIVIT
- Centro de Atención a la Actividad Nuclear (Camagüey)
- LIORAD
- Instituto de Hematología

Relación de Productos irradiados

- Prótesis de cadera, huesos y piel para quemados.
- Placas rodac y tapas.
- Placenta.
- Prótesis de codo, cadera y mama, cánulas, sondas Foley, tubos endotraqueal.
- Tejido celular y tapones de goma.
- Cayos stylosauthes.
- Semillas y embriones de yuca, suspensión celular de plátano.
- Semillas de ucaena, calabaza china y fruta bomba.
- Filtros milipol y espejuelos.
- Sangre y complejo plaquetario.

Contratos de trabajo

Se tienen firmados cuatro contratos de trabajo con el Hospital Ortopédico Frank País, la Clínica Central Cira García, BIOCEN y el Centro de Inmunología Molecular (CIM) además se trabaja como parte de un proyecto de investigación con el Centro de Biotecnología y se presentaron dos nuevos contratos que no han comenzado su ejecución.

Por otra parte se presentaron cinco contribuciones científicas en los eventos siguientes: International Symposium on Radiation Technology in Emerging Industrial Applications, China, 2000, en el NURT 2001, Cuba, y en el National Meeting on Nuclear Applications, VI ENAN, Brasil, 2002.

Control del proceso. Sistemas dosimétricos empleados en el servicio de irradiación

El parámetro empleado en el control de la calidad del proceso de irradiación es la dosis absorbida, por tanto es necesario el conocimiento exacto y preciso de la respuesta de los sistemas dosimétricos utilizados. Debido a esto las técnicas dosimétricas empleadas tanto en la calibración como en el control del proceso de irradiación se basan en normas ramales nacionales y de la ASTM.

Los sistemas dosimétricos utilizados en el laboratorio son: Fricke, sulfato cérico-ceroso, Perspex (Red, Clear y Amber) e indicadores de dosis. Los dos primeros son sistemas estándares de referencias y el tercero de rutina, el cual es muy adecuado para el control del proceso de radioesterilización.

Sistema dosimétrico Fricke

El dosímetro Fricke se emplea para la calibración de otros sistemas dosimétricos, el control del proceso de irradiación y la puesta en marcha de diferentes irradiadores en Cuba.

Se estudió la influencia de diferentes factores sobre el valor del coeficiente de extinción molar ϵ , así como el efecto de la longitud de onda de medición, la concentración de oxígeno en la solución dosimétrica y el equipo de medición para obtener una buena precisión y exactitud en el valor de la dosis absorbida con este dosímetro [3,4].

Se demostró que la temperatura de medición y la cantidad de peróxido de hidrógeno en la solución influyen significativamente en el valor de ϵ . No es necesario realizar mediciones a 224 nm cuando se emplea un espectrofotómetro de alta precisión y un control de temperatura ni saturar la solución con oxígeno en el rango de trabajo del dosímetro Fricke [5], lo cual sería solo necesario cuando se quiere aumentar el rango de dosis de dicho dosímetro.

Los valores de dosis absorbidas obtenidos en diferentes espectrofotómetros demostraron que no hubo diferencia significativa en el rango de dosis estudiado cuando el valor del ϵ se determina en el mismo equipo en el cual se realizó la medición de la dosis.

Sistema dosimétrico sulfato cérico-ceroso

Este sistema dosimétrico se emplea para conocer la influencia de la concentración de cérico, el coeficiente de extinción molar, el factor de dilución de la muestra y la estabilidad de la solución dosimétrica antes y después de la irradiación (diluido y no diluido) [6] y se utiliza en el control del proceso de irradiación en el rango de dosis de 0,6-5 y 5-40 kGy, para concentraciones de 1,5 y 10 mM respectivamente.

Los resultados demostraron que para valores de alta concentración de iones céricos el sistema es más estable; se obtuvo un error relativo del coeficiente de extinción molar del 0,6% con relación al reportado en la literatura y factores de dilución de 12,5 y 100 para concentraciones de 1,5 y 10 mM.

Con relación a la estabilidad antes de la irradiación se obtuvo que la solución primaria de cérico es estable hasta seis meses y la de 10 mM hasta cuatro meses, por otra parte la solución madre de cérico-ceroso es estable hasta un año y sus diluciones de 1,5 y 10 mM preparados inmediatamente mostraron una estabilidad de ocho meses. Sin embargo, después de la irradiación la solución es más estable cuando la muestra se diluye en el instante de la medición con relación a la muestra que se diluye inmediatamente después de la irradiación y medida transcurrido un intervalo de tiempo.

Dosímetros Perspex [Red 4034 (Batch AE y EN), Clear HX (Batch No. 7) y Amber 3042 (Batch L)]

Estos dosímetros se emplean fundamentalmente en el control de rutina del proceso de radioesterilización y descontaminación donde se ha estudiado la influencia de la temperatura de irradiación y almacenamiento, el tiempo post-irradiación y la tasa de dosis en el valor de la absorción específica inducida en función de la dosis absorbida con el objetivo de obtener valores de dosis exactos durante el control del proceso de irradiación [7-9].

En el control de la radiodescontaminación de un suplemento dietético se empleó el sistema dosimétrico Red Perspex 4034 EN para un valor de dosis absorbida esperada de 8 kGy. Se distribuyeron ocho dosímetros en todo el volumen de producto y se obtuvo un valor medio experimental de $8,11 \pm 0,802$ kGy con un coeficiente de variación de 0,0988, lo que representó un error experimental del 1,35%, por lo que se tuvo en consideración para obtener este

valor de dosis absorbida la influencia de la temperatura de irradiación y la tasa de dosis en la respuesta de este sistema dosimétrico, donde de un estudio para tres valores diferentes de tasa de dosis se empleó el polinomio de cuarto orden del valor de la tasa de dosis más próximo a la del proceso de irradiación, lo que se corresponde con las investigaciones realizadas por Whittaker [10].

En el proceso de radioesterilización de material médico se utilizó el sistema dosimétrico Red Perspex 4034 AE, donde se distribuyeron 10 dosímetros en el volumen de irradiación para un valor de dosis absorbida de 25 kGy, obteniéndose un valor medio experimental de $25,66 \pm 0,715$ kGy, con un error relativo del 2,5%, y se empleó la curva de calibración que tiene en consideración la influencia de la temperatura de irradiación y el tiempo post-irradiación para la obtención de la dosis absorbida, factores que están en correspondencia con otros trabajos científicos realizados [11,12].

Dosímetros indicadores

Se emplean en el proceso de radioesterilización dosímetros indicadores de dosis (go-no-go) marca Megarai de producción húngara, que determinan si un producto fue irradiado o no, lo que brinda una seguridad en el proceso de irradiación.

Sistema de calidad

El Servicio de Irradiación dispone de un Sistema de Calidad en correspondencia con los requerimientos de la Norma Nacional COPANT-ISO 9002:1995, el cual está compuesto por un manual de calidad, ocho procedimientos, cuatro instrucciones y dieciocho registros. El servicio es auditado regularmente por autoridades internas y se está trabajando para su certificación por la Oficina Nacional de Normalización una vez actualizado por la Norma ISO 9000: 2000.

Intercomparación de dosis absorbida

El sistema dosimétrico empleado en el laboratorio para la intercomparación de dosis absorbida es el dosímetro sulfato cérico-ceroso. En el año 1996 se realizó un ejercicio de intercomparación para tres valores de dosis diferentes en el intervalo de 10-50 kGy con el Laboratorio de Dosimetría para el Proceso de Radiación del Centro Atómico Ezeiza de Argentina.

Ellos emplearon el dosímetro de plata/dicromato de potasio, donde se obtuvo un error relativo mínimo entre los dos sistemas de 4,4% y máximo de 5,8%. Posteriormente se realizaron tres intercomparaciones con el Servicio Internacional de Verificación de Dosis (IDAS) del Organismo

Internacional de Energía Atómica y se empleó el dosímetro de alanina, durante los años 1999, 2000 y 2001.

La razón entre las dosis absorbidas suministradas en el laboratorio y la dosis medida por el OIEA en el primer año fueron de 1,02 (para 25 kGy), en el segundo de 1,02 (para 4 kGy), de 0,99 (para 10 kGy) y de 1,02 (para 25 kGy) y en el último año de 0,96 (para 2 kGy). Estos resultados indican que el sistema de sulfato cérico-ceroso es adecuado y preciso para la medición de valores de dosis absorbidas medias y altas.

CONCLUSIONES

El Servicio de Irradiación permite la aplicación satisfactoria de la tecnología de irradiación a una amplia diversidad de productos y en condiciones de trabajo diferentes. Es controlado con sistemas dosimétricos precisos y exactos como son: Fricke, sulfato cérico-ceroso, Perspex (Red, Clear y Amber) e indicadores de dosis, garantizándose así la calidad del proceso de irradiación. La dosis absorbida es el parámetro empleado como control de la calidad del Servicio de Irradiación además permite realizar investigaciones relacionadas con la biología, la medicina, la agricultura y la química de las radiaciones, lo cual amplía cada vez más el empleo de esta tecnología a sectores importantes de la sociedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Descripción Técnica e Instrucciones para la operación de la Instalación autoblandada para irradiación gamma, Investigador (PX- γ -30), 1996.
[2] OIEA, Boletín OIEA, Vol. 27, No.1, 1985.
[3] PRIETO, E. F., CAÑET, F., LÓPEZ, R., Algunos valores que influyen en la determinación del coeficiente de

extinción molar en el dosímetro Fricke, Tecnología Química, Año X, No.3(1989)9-15.

[4] PRIETO, E. F., CAÑET, F., Aspectos a considerar en el dosímetro Fricke, Tecnología Química, Año XI, No.2(1990)19-28.

[5] PRIETO, E. F., Development and current state of dosimetry in Cuba, Proceedings of Symposium Techniques for high dose dosimetry in Industry, Agriculture and Medicine, IAEA-TECDOC-1070, IAEA, Vienna (1999)319.

[6] PRIETO, E. F., El sistema dosimétrico sulfato cérico (cérico-ceroso). Desarrollo y aplicación en Cuba, Proceedings 4th Meeting on Nuclear Application, MG, Brasil (1997)24.

[7] PRIETO, E. F., CHÁVEZ, A., Influencia de diferentes factores en la calibración de los dosímetros Perspex (Red y Clear), Revista Nucleus, No. 15(1993)16.

[8] PRIETO, E. F., CHÁVEZ, A., CUESTA, G., Influence of irradiation and storage temperatures and post-irradiation time in the Amber Perspex dosimeters, Proceedings 2nd International Symposium on Nuclear and Related Techniques in Agriculture, Industry, Health and Environment, Cuba, 1999.

[9] PRIETO, E. F., BARRERA, G., Dose rate influence in the response of the Amber 3042 Perspex dosimeter, Batch L, Proceedings 3rd International Symposium on Nuclear and Related Techniques in Agriculture, Industry, Health and Environment, Cuba, 2001.

[10] WHITTAKER, B., WATTS, M.F., The influence of dose rate, ambient temperature and time on the radiation response of Harwell PMMA dosimeters, Radiation Physics and Chemistry, 60(2001)101-110.

[11] GLOVER, K.M., PLESTED, M.E., WATTS, M.F., WHITTAKER, B., A study of some parameters relevant to the response of Harwell PMMA dosimeters to gamma and electron irradiation, Radiation Physics and Chemistry, Vol. 42, Nos.4-6(1993)739-742.

[12] GLOVER, K.M., KING, M., WATTS, M.F., Calibration and intercomparison of Red 4034 Perspex dosimeters, Proceedings International Symposium of High Dosimetry, IAEA, Viena, 1985.

PROCESO DE ACREDITACIÓN POR LA NC-ISO/IEC 17025:00 DE LOS PRINCIPALES LABORATORIOS DEL CENTRO DE PROTECCIÓN E HIGIENE DE LAS RADIACIONES

Mariela Marrero García, Daniel Molina Pérez, Isis María Fernández Gómez, Gonzalo Walwyn Salas

Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones, (CPHR), Calle 20 No. 4113 el 41 y 47, Playa, Ciudad de La Habana, Cuba

Resumen

Con el objetivo de brindar servicios técnicamente calificados y competitivos a nivel nacional e internacional, los laboratorios del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones trabajan bajo los requisitos de un Sistema de la Calidad desde 1993. A partir de 1999 cuando ya se contaba con un borrador del nuevo modelo ISO/IEC 17025:00 se dieron los pasos para el cambio de la Guía 25. Actualmente, el centro cuenta con tres laboratorios acreditados por el Organismo Nacional de Acreditación de la República de Cuba de acuerdo con este nuevo modelo, que son pioneros en estos cambios pues hay un grupo muy reducido de laboratorios en el país que lo han logrado. El presente trabajo enuncia los antecedentes del cambio, las principales no conformidades durante las evaluaciones para la acreditación y los resultados.

NC-ISO/IEC17025:00 ACCREDITATION PROCESS OF CPHR'S MAIN LABORATORIES

Abstract

With the objective of offering technically qualified and competitive services one works in our laboratories under the requirements of a System of the Quality from 1993. In 1999 that was already with a draft of the new model ISO/IEC 17025:00 the steps they were given for the change of the Guide 25. At the moment with three laboratories accredited by the Cuban organ we are pioneer in these changes because alone a very reduced group of laboratories in the country has achieved. The present work enunciates the antecedents of the change, the main non conformities during the evaluations for the accreditation and the results.

Palabras clave: certification, evaluation, ISO, standardization, test facilities, national organizations, quality assurance, control, SSDL

I. Antecedentes

El proceso de acreditación de los principales laboratorios del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones data de 1993, época en la cual se definió la estrategia para elevar la calidad de los servicios del centro (período 93 al 95). Esta estrategia se dividía en dos etapas:

- I Etapa: asimilación e implantación de los elementos del Sistema de Calidad según la norma NC-ISO/IEC 25, Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de calibración y ensayo (Guía 25) y formulación de la política de calidad.

- II Etapa: verificación de la reproducibilidad de las determinaciones realizadas en cada laboratorio, participación en intercomparaciones con otros laboratorios, auditorías internas y presentación de la solicitud oficial de acreditación a la Oficina Nacional de Normalización [1].

Durante estos años se consolidaron los requisitos de la Guía 25 y se elaboraron documentos, tanto a nivel de centro como en cada laboratorio. Los documentos elaborados de carácter general pero rectores para toda la gestión fueron:

- a. Política de la Calidad (objetivos).
- b. Procedimiento de gestión documental.
- c. Tratamiento de las solicitudes de servicios científico-técnicos.
- d. Aspectos que debe contener el Manual de la Calidad de los laboratorios.
- e. Certificación interna.
- f. Preparación del personal.

Esta lista se amplió posteriormente en 1996 para que los servicios tuvieran el sello de la institución.

En 1997 se logró acreditar dos laboratorios: Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica-(LSCD) y el Laboratorio de Vigilancia

Radiológica Ambiental (LVRA), y en 1998 el Laboratorio de Dosimetría Externa (LDE). Otro grupo de laboratorios del centro (Radiobiología y Contaminación Interna) no serían sometidos a la acreditación externa pero sí debían cumplir con los requisitos de la Guía 25, condicionado porque la acreditación es costosa y sobre estos laboratorios no habían exigencias externas.

La acreditación de los tres laboratorios se mantuvo los tres años de vigencia. Desde 1999 se conoció de la revisión que se le estaba practicando a la Guía 25 e inmediatamente se comenzó a trabajar con los borradores, y posteriormente con la traducción boliviana hasta tanto Cuba la adoptó como norma propia.

Las principales acciones fueron:

1. Preparación del especialista del CPHR a cargo de la calidad en el contenido de la norma (borradores y traducciones): esto motivó intercambio con los especialistas de acreditación de la ONARC; participación en las discusiones de los términos para Cuba (vía e-mail cortesía de la secretaria ejecutiva de la ONARC, y participación en el taller para los laboratorios acreditados.
2. Organización de seminarios internos para la interpretación homogénea en el CPHR de los requisitos de la norma. Esto generó varios niveles de seminarios para los directivos y para los técnicos de los laboratorios.
3. Elaboración y aplicación de una lista de chequeo para evaluar la conformidad con los requisitos de la norma.
4. Elaboración de planes de acciones para eliminar no conformidades.
5. Seguimiento de las acciones.
6. Evaluación de las posibilidades de obtener la acreditación.
7. Solicitud de acreditación de los tres laboratorios principales.

II. Proceso de acreditación

El proceso de acreditación siguió lo establecido en los procedimientos de la ONARC, los cuales constan de las siguientes etapas:

1. La solicitud: elaboración de la carta de solicitud, revisión de los términos del contrato, modelo de solicitud oficial y envío del Manual de la Calidad y los Procedimientos. Estos son examinados y concluye con un informe de la ONARC para continuar con la siguiente etapa.
2. La evaluación: esta etapa es una auditoría conciliada de conjunto con el centro, tanto en las fechas como el equipo auditor.

El centro solicitó nuevamente de manera oficial la evaluación de sus tres laboratorios (LDE, LSCD y el LVRA), que anteriormente estaban acreditados por la Guía 25. El alcance de la acreditación fue de un total de dos ensayos y cuatro calibraciones, de estas una fue no conforme (ver anexo). El especialista encargado de la calidad tiene dentro de sus funciones ejercer la única

contraparte con la Oficina Nacional de Normalización para la coordinación y tramitación de las acreditaciones. Esto se hace con el objetivo de establecer un canal único de comunicación con la seguridad de que se cumplirán las etapas acordadas y se cumplirán los términos del contrato en todo su alcance. Es una garantía para las dos partes y alivia al laboratorio de gestiones administrativas, aunque él es quien decide finalmente lo que se está tramitando (fechas, equipo auditor, etc.).

2.1 Resultados del proceso análisis documental

En la etapa de solicitud durante el análisis documental [2] se detectaron un grupo de no conformidades cuya valoración no influyó en que se pasara a la etapa de evaluación. Un resumen de ellas se muestra en la tabla 2.1.

Las no conformidades asociadas a los requisitos de gestión generalmente eran las mismas en los tres laboratorios. Un factor que influyó es que estos temas son de carácter general y están rectoreados por el Sistema de Gestión de la Calidad de todo el centro, además de otro factor relacionado con el empleo de fuentes de radiaciones ionizantes en alguno de estos laboratorios que motivó, que el equipo auditor desconociera que no en todos se debían cumplir requisitos de protección radiológica (asociadas en 4.1).

Las no conformidades asociadas a los requisitos técnicos en general se debían a que no estaban claramente redactados algunos aspectos en los procedimientos, por ejemplo: No queda claro cómo se le informa al cliente... o No queda claro si las muestras son trazables al SI.

Los laboratorios le dieron respuesta a cada observación y no conformidad durante la primera etapa de la evaluación *in situ* lo que propició la continuación de esta según los procedimientos de la ONARC.

2.2 Resultados de la evaluación *in situ*

Para la evaluación *in situ* la ONARC constituyó un equipo evaluador de cinco miembros con la misma composición para dos laboratorios (LSCD y el LDE), esto provocó que se establecieran comparaciones no muy objetivas en todos los casos teniendo en cuenta que cada uno tiene sus propias características, funciones, etc.

En el tercer laboratorio evaluado (LVRA) el equipo fue de tres miembros y diferentes a los del equipo anterior.

Durante las evaluaciones se hicieron demostraciones de los ensayos y las calibraciones que eran alcance de la acreditación. Participó el personal de los laboratorios y se pudo constatar que era de dominio de todos.

PANORAMA NUCLEAR

Tabla 2.1 Resumen de las no conformidades de los tres laboratorios del CPHR en el análisis documental

No.	Requisito de la norma ISO/IEC 17025:00	No conformidades detectadas	Observaciones del equipo
Requisitos de la gestión			
4.1	Organización	5	
4.2	Sistema de la calidad	1	
4.3	Control de los documentos		
4.4	Revisión de solicitudes, ofertas y contratos	2	
4.5	Subcontratación de los ensayos y las calibraciones		1
4.6	Compra de servicios y suministros	1	
4.7	Servicio al cliente		
4.8	Quejas		
4.9	Control de los trabajos no conformes de ensayo o calibración		
4.10	Acción correctiva		
4.11	Acción preventiva		
4.12	Control de registros		
4.13	Auditorías internas	2	
4.14	Revisiones por la dirección		
Requisitos técnicos			
5.1	Generalidades		
5.2	Personal		
5.3	Instalaciones y condiciones ambientales		1
5.4	Métodos de ensayo y calibración y validación del método	3	
5.5	Equipos		
5.6	Trazabilidad de las mediciones	1	1
5.7	Muestreo		
5.8	Manipulación de los objetos de ensayo y calibración	1	
5.9	Aseguramiento de la calidad de los resultados de los ensayos y de las calibraciones		
5.10	Informe de los resultados		

PANORAMA NUCLEAR

En las siguientes figuras mostramos la cantidad de no conformidades y observaciones detectadas durante la evaluación. El gráfico 1 muestra las no conformidades y observaciones relacionadas con los requisitos de gestión de la norma, y el gráfico 2 con los requisitos técnicos.



Figura 1. Requisitos de gestión.



Figura 2. Requisitos técnicos.

III. Resultados generales del proceso de la acreditación

De las figuras anteriores se denota que existía una preparación adecuada de los laboratorios en sus aspectos técnicos, elemento más difícil si se tiene en cuenta que en la mayoría de los casos no basta con mantenerlos, sino que hay que contar con recursos materiales y financieros para ello (por ejemplo: mantener la calibración y verificación del equipamiento, contar con muestras certificadas, entre otras. Hubo también apreciaciones del equipo auditor, aunque en menor medida.

En el caso de los requisitos de gestión tienen un mayor número de no conformidades y observaciones nuevamente (ocurrió igualmente en la etapa documental) debido a que algunos de ellos son

ejecutados por áreas fuera de los laboratorios, por ejemplo: la contratación de la oficina comercial, las compras de la División de Servicios Internos, y otros.

Esto hace que se auditen varias áreas al mismo tiempo y por supuesto hay una mayor probabilidad de encontrar al menos un error en cada una.

Por otro lado vuelve aparecer el factor de la seguridad radiológica para un laboratorio en particular. Este aspecto generó no conformidades asociadas al requisito 4.1, en algunos casos innecesarias como por ejemplo: No tienen en su poder la licencia de operación, cuando esta se había tramitado y solo faltaba su entrega oficial por la autoridad competente.

Como resultado de las evaluaciones [3] se les dio diferentes plazos a los laboratorios para eliminar las no conformidades y posteriormente se hicieron las evaluaciones para el cierre de estas.

CONCLUSIONES

En el proceso resultó que tres de los cinco laboratorios del CPHR han obtenido la condición de Laboratorio Acreditado según el modelo de la ISO/IEC 17025:00 para dos ensayos y tres calibraciones (de cuatro solicitadas), lo que demostró que operan un sistema de calidad, que son técnicamente competentes y que son capaces de generar resultados técnicamente válidos. Dos de estos laboratorios estuvieron entre los cinco primeros de todo el país en ser acreditados por la ONARC por este nuevo modelo.

Se generó un elevado número de no conformidades a pesar de que estos laboratorios están acreditados por la Guía 25 motivado fundamentalmente por:

- Asimilación de una nueva norma tanto por parte del organismo evaluador como del centro evaluado.
- Incumplimiento de procedimientos.
- Los expertos de apoyo del equipo auditor no siempre dominan los términos de los requisitos de la norma, máxime cuando esta es totalmente nueva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Revista de Normalización, No. 3/2001 Cuba.
- [2] Órgano Nacional de Acreditación de la República de Cuba (ONARC): Informes de Análisis Documental: LVRA(mayo/02); LDE(mayo/01) y el LSCD (septiembre/00).
- [3] Órgano Nacional de Acreditación de la República de Cuba (ONARC): Informes de Evaluación para la acreditación de laboratorios: LVRA(mayo/02); LDE(julio/01) y el LSCD (julio/01).

PANORAMA NUCLEAR

ANEXO

ENSAYOS Y CALIBRACIONES ACREDITADOS EN EL CPHR POR LA NC-ISO/EIC 17025:00

	LSCD	LDE	LVRA
Ensayos		1. Determinación de la dosis equivalente personal Hp(d) con dosímetros termoluminiscentes.	1. Determinación de radionúclidos misores gamma en matrices ambientales
Calibraciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tasa de kerma en aire para dosímetros de radioterapia 2. Tasa de kerma en aire para dosímetro de referencia de protección radiológica 3. Tasa de dosis equivalente ambiental para dosímetros de área 		

COMPARACIÓN DE LA MEDICIÓN DE ACTIVIDAD DE ^{131}I , ^{201}Tl Y $^{99\text{m}}\text{Tc}$ EN ACTIVÍMETROS

Pilar Oropesa Verdecia¹, Aerulio T. Hernández Rivero¹, Rolando A. Serra Águila¹, Ernesto Martínez Herrera¹, Consuelo Varela Corona²

¹Centro de Isótopos (CENTIS), Ave. Monumental y carretera La Rada, km 3, Guanabacoa, Ciudad de La Habana, Cuba

²Centro de Control Estatal de Equipos Médicos (CCEEM), Calle 4 No. 455 e/ 21 y 19, Plaza de la Revolución, Ciudad de La Habana, Cuba

Resumen

La administración correcta al paciente de la actividad indicada del radiofármaco es un factor importante para asegurar un diagnóstico confiable o la eficiencia de la terapia, al mismo tiempo que se mantiene la exposición humana tan baja como sea posible.

Las comparaciones de la medición de actividad de ^{131}I , ^{201}Tl y $^{99\text{m}}\text{Tc}$ en activímetros, se han organizado por primera vez en el país durante el año 2002, con el objetivo de obtener información sobre la calidad de la administración de la actividad de los radiofármacos. En el presente trabajo se muestran los resultados, los cuales facilitaron la identificación de problemas y el inicio de la toma de acciones preventivas. Asimismo, estos resultados reflejan la necesidad de establecer sistemas de calidad en la medicina nuclear cubana.

COMPARISONS OF ^{131}I , ^{201}Tl AND $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ACTIVITY MEASUREMENTS IN ACTIVIMETERS

Abstract

The correct administration to a patient of the a priori established activity of the radiopharmaceutical is an important factor to ensure the confidence in the diagnosis or the therapy efficiency, keeping at the same time the human exposure as low as possible.

National comparisons for the ^{131}I , ^{201}Tl and $^{99\text{m}}\text{Tc}$ activity measurements in activimeters have been organized for the first time with the aim of obtaining information about the quality of the administration of radiopharmaceuticals. The comparison results, shown in this paper, have facilitated the identification of the problems and to initiate preventive actions. Furthermore, these results reflect the need of establishing Quality Systems in Nuclear Medicine in Cuba.

Palabras clave: quality control, radiation doses, radiation protection, maximum permissible level, dosimetry, activity meters, radiopharmaceuticals, diagnosis, therapy, iodine 131, technetium 99 thallium 201, interlaboratory comparisons, comparative evaluations

INTRODUCCIÓN

Antes de administrarle un radiofármaco al paciente se debe determinar correctamente la actividad del nucleido por medio de su medición. La administración correcta es uno de los factores más importantes para asegurar la obtención de un diagnóstico confiable o la eficiencia de un tratamiento terapéutico, al mismo tiempo que se mantiene la exposición humana tan baja como sea posible.

Cuando al diagnóstico y terapia con radionucleidos se someten niños pequeños, resulta aún de mayor importancia la administración de actividades bien conocidas. Por esta razón existen regulaciones de la Farmacopea [1] con respecto a la incertidumbre de la determinación de la actividad del radiofármaco administrado. Para esta incertidumbre expandida, con factor de cobertura $k=3$, se ha establecido un límite superior de un 10%.

Incertidumbres mayores en la medición de la actividad administrada, pueden ocasionar la aplicación de sobredosis o de una dosis demasiado baja, ambas cosas no deseables y peligrosas debido a su relación riesgo-beneficio o a su riesgo sin ningún beneficio, respectivamente. De manera similar, estas mediciones revisten gran importancia durante el desarrollo y la aplicación de nuevos productos radiofarmacéuticos.

Las primeras comparaciones nacionales de la medición de actividad de ^{131}I , ^{201}Tl y de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ en activímetros, se organizaron por el Departamento de Metrología de Radionúclidos del Centro de Isótopos (CENTIS-DMR) en colaboración con el Centro de Control Estatal de Equipos Médicos (CCEEM), durante el año 2002. Con estas comparaciones se pretendía información sobre la calidad de la administración de la actividad de los radiofármacos. En este trabajo se muestran los resultados los cuales facilitaron la identificación de problemas y el inicio de la toma de acciones correctivas.

Objetivos de las comparaciones

Las comparaciones estuvieron orientadas a evaluar el desempeño de los diferentes Departamentos de Medicina Nuclear y el CENTIS, que miden la actividad de ^{131}I , ^{201}Tl y $^{99\text{m}}\text{Tc}$ con activímetros, para administrar radiofármacos a los pacientes o durante la producción de los productos radiofarmacéuticos. En particular, este tipo de comparaciones permite evaluar no sólo el funcionamiento del instrumento de medición, sino también los procedimientos empleados en la práctica cotidiana y el desempeño del personal que realiza las mediciones.

Los resultados de los ejercicios ayudan a la detección de los problemas existentes durante la medición en los activímetros y a la búsqueda de las soluciones correspondientes, así como al establecimiento de la incertidumbre y trazabilidad de los resultados de medición reportados por los participantes.

Descripción de las muestras

Las muestras de las comparaciones se elaboraron en el CENTIS-DMR. Se prepararon dos geometrías utilizadas rutinariamente por los participantes: frasco de vidrio estándar P6, conteniendo 5 mL de solución radiactiva y jeringa plástica de 5 mL de capacidad, conteniendo aproximadamente 2,5 mL de solución radiactiva.

La actividad de referencia de la muestra, X_{ref} , se establece a partir de su medición en un activímetro calibrado en CENTIS-DMR. Las mediciones de actividad de ese activímetro están trazadas con una incertidumbre igual a 2% (1σ), a un espectrómetro gamma calibrado con un juego de fuentes puntuales certificado por la Oficina Nacional de Mediciones de Hungría. En total se prepararon:

- 19 muestras radiactivas de ^{131}I , 15 en frasco de vidrio y cuatro en jeringas plásticas. Cada mL de la solución contenía: 9 mg de NaCl, 2,5 mg de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$, 4 mg de $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, 1 mg de NaH_2PO_4 y 0,1 mg de KI.
- 11 muestras radiactivas de ^{201}Tl , ocho en frasco de vidrio y tres en jeringas plásticas.

La composición química de la solución fue la siguiente: $^{201}\text{TlCl}$ en una solución acuosa al 0,9% NaCl; 0,9% alcohol bencílico y 100 μg de Tl^+ en 0,1 M de HCl.

- 23 muestras radiactivas de $^{99\text{m}}\text{Tc}$, 16 en frasco de vidrio y siete en jeringas plásticas. La muestra fue una solución salina de $\text{Na } ^{99\text{m}}\text{Tc O}_4$, con 9 mg/ mL de Na Cl y 10 mg/ mL de H_2SO_4 .

Esquema empleado

Esquema de valores conocidos, según Guía ISO/IEC 43-1 [2]. A cada participante se le envían muestras radiactivas, que son muestras de referencia previamente preparadas y calibradas en el CENTIS-DMR y solamente son medidas por ese participante.

Métodos y activímetros empleados

Los participantes aplicaron los procedimientos rutinarios establecidos para la determinación de la actividad de una muestra en el activímetro y la administración de la actividad al paciente. En total participaron nueve laboratorios en la comparación de ^{131}I y de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ y cinco en la de ^{201}Tl .

La relación de los activímetros empleados para las mediciones, según el fabricante, aparece en la tabla 1. Todos los instrumentos se calibraron por el CENTIS-DMR a inicios del año 2002, previo a las comparaciones.

Envío de las muestras y recepción de los datos

La selección de los radionucleidos y las geometrías según el participante, se corresponde con su empleo en las diferentes instituciones. A cada Departamento de Medicina Nuclear se le enviaron tres muestras radiactivas de cada nucleido empleado en ese Departamento: dos en geometría de frasco de vidrio y una en geometría de jeringa plástica. A los laboratorios del CENTIS se les envió un frasco de vidrio de cada nucleido.

A todos los participantes se les solicitó la determinación de la actividad del nucleido dado presente en las muestras, X_{med} , conjuntamente con la descripción del procedimiento de determinación empleado y las características del instrumento en que se realizan las mediciones.

A los Departamentos de Medicina Nuclear se les pidió adicionalmente simular la administración de una actividad previamente planificada a un paciente. Para esto, se distribuyó un frasco

Tabla 1. Relación de los activímetros utilizados, según el fabricante

Activímetros
✓ PTW – Curiementor 3 (dos instrumentos)
✓ Biodex Medical Systems, Atomlab 100 Plus – modelo 086-265 (dos instrumentos)
✓ PTW – Curiementor 2 (seis instrumentos)
✓ Victoreen. CalRad, Rev. 113000 (un instrumento)
✓ ALFANUCLEAR – ACT-15 (un instrumento)
✓ CAPINTEC CRC-35R (un instrumento)

sellado que contenía una solución no radiactiva de composición química similar a la de las muestras de referencia. Este frasco simularía al paciente al cual se le administraba la actividad. La solución inactiva se utilizó para realizar el "enjuague" típico que se efectúa con la sangre al inyectar el preparado radiactivo.

Específicamente, la prueba consistía en tomar la actividad a administrar de uno de los dos frascos de vidrios suministrados para la comparación, con una jeringa de las usadas comúnmente en el Departamento, y traspasarla al frasco sellado con la solución no radiactiva inyectándola a través del tapón de goma. Los participantes debían reportar:

- actividad planificada para administrar, X_{plan} .
- actividad en el frasco de vidrio original,
- resultados de la medida de la actividad a administrar tomada en la jeringa,
- resultados de la medida de la actividad del radionucleido administrada realmente, contenida en el frasco de vidrio al que se traspasó la solución tomada con la jeringa, X_{adm} .
- actividad residual en el frasco de vidrio original,
- actividad en los desechos radiactivos generados durante el proceso,
- descripción del procedimiento empleado.

Las muestras de ^{131}I se distribuyeron el 18 de junio y las de ^{201}Tl el 29 de octubre de 2002. Las muestras de ^{99m}Tc se distribuyeron entre el 30 de octubre y el 21 de noviembre de 2002. Las mediciones de las muestras de ^{131}I se realizaron entre el 19 de junio y el 7 de julio de 2002. La fecha límite para el envío de los resultados de ^{131}I se fijó para el 19 de julio de 2002. Para el ^{201}Tl , las mediciones se realizaron entre el 29 de octubre y el 1 de noviembre de 2002 y la fecha límite de reporte de los resultados se fijó para el 15 del mismo mes. Para el ^{99m}Tc , las mediciones de las muestras se realizaron el propio día o al día siguiente de su distribución y la fecha límite de reporte de resultados se estableció para el 4 de diciembre de 2002.

Estabilidad de las muestras

La estabilidad de las muestras radiactivas empleadas en el ejercicio se controló mediante su medición en el activímetro donde inicialmente se calibraron. Cada muestra se midió antes de su envío a los participantes y al concluir las mediciones en las diferentes instituciones, cuando las muestras se devolvieron al CENTIS-DMR. Para el ^{99m}Tc , se realizó solamente el control antes del envío de las muestras a los Departamentos de Medicina Nuclear, debido al corto período de vida media de este nucleido y a los buenos resultados durante la caracterización de la estabilidad de este tipo de muestras [3]. Todas las muestras utilizadas en las comparaciones resultaron suficientemente estables para la evaluación.

Evaluación de los resultados

a) Cálculo del desempeño y tratamiento de los datos: los resultados se transformaron en forma de estadístico de desempeño, para ayudar a su interpretación y permitir su comparabilidad. El objetivo es medir en cuánto se desvía el valor medido y reportado por el participante, del valor asignado o de referencia, de manera que sea posible la comparación con el criterio de desempeño seleccionado.

Para las comparaciones se siguió la recomendación de la ISO [2] y se utilizó como estadístico de desempeño z-score, donde:

$$z = (X_{med} - X_{ref}) / s$$

X_{med} es el valor de actividad del radionucleido reportado por el participante para la muestra y corregido según la ley de desintegración radiactiva para la fecha de referencia. Cada laboratorio determina y reporta un solo valor de actividad del radionucleido para la muestra (el número de repeticiones de la determinación de la actividad de la muestra es igual a 1).

X_{ref} es el valor de referencia de la actividad del nucleido en la muestra para la fecha de referencia, asignado por el CENTIS-DMR, y s se toma igual a $0,033 X_{ref}$, partiendo del criterio de la Farmacopea [1] para la incertidumbre permisible en la determinación de la actividad administrada a los pacientes: 10% empleando un factor de cobertura $k=3$.

Los períodos de vida media de los radionucleidos, $T_{1/2}$, empleados para los cálculos de la corrección por desintegración radiactiva, se tomaron de [4].

Los cálculos se realizaron empleando el software Excel de Microsoft TM. Todos los valores que aparecen en las tablas se muestran redondeados hasta la cifra significativa, para mantener la uniformidad de la presentación. Sin embargo, con el objetivo de disminuir al mínimo la incertidumbre debido al redondeo en el valor de z-score, esta operación en la práctica se ha realizado solamente después del cálculo final.

b) Evaluación del desempeño: como criterio para la evaluación del desempeño se establece el siguiente:

- $|z| < 3$ -- desempeño satisfactorio.
- $|z| > 3$ -- desempeño no satisfactorio.

Para mostrar el desempeño de los laboratorios participantes se usan gráficos de las z-scores ordenadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la determinación de ^{131}I , ^{201}Tl y ^{99m}Tc , obtenidos por los participantes mediante la medición de las muestras en el activímetro, aparecen en la tabla 2, donde se muestran los resultados para ambas geometrías: frasco de vidrio P6 y jeringa plástica y se incluyen los parámetros z individuales calculados para cada determinación reportada.

CIENCIAS NUCLEARES

Tabla 2. Resultados de la determinación de actividad de ^{131}I , ^{201}Tl y $^{99\text{m}}\text{Tc}$ en las muestras

X_{ref} [MBq]	X_{med} [MBq]	z-score	X_{ref} [MBq]	X_{med} [MBq]	z-score	X_{ref} [MBq]	X_{med} [MBq]	z-score	Código del participante
Nucleido: ^{131}I Frasco de vidrio			Nucleido: ^{201}Tl Frasco de vidrio			Nucleido: $^{99\text{m}}\text{Tc}$ Frasco de vidrio			
73,74	74,50	0,31	16,08	16,14	0,11	189,60	190,96	0,22	1
72,24	72,89	0,27	31,92	31,93	0,003	199,84	198,77	-0,16	2
77,02	74,42	-1,02	33,56	33,41	-0,13	533,26	522,63	-0,60	3
76,65	74,41	-0,89	33,20	33,14	-0,06	530,80	521,19	-0,55	3
79,24	77,49	-0,67	---	---	---	1801,2	1755,2	-0,77	4
78,94	76,96	-0,76	---	---	---	1722,6	1657,4	-1,15	4
81,96	135,63	19,84	---	---	---	62,26	61,25	-0,49	5
70,39	116,57	19,88	---	---	---	64,66	63,34	-0,62	5
76,31	73,37	-1,16	---	---	---	---	---	---	6
77,61	74,51	-1,21	---	---	---	---	---	---	6
77,12	77,68	0,22	---	---	---	3175,2	3089,4	-0,82	7
78,10	77,96	-0,06	---	---	---	2705,1	2652,5	-0,59	7
77,22	81,46	1,67	---	---	---	---	---	---	8
70,83	74,48	1,56	---	---	---	930,2	878,2	-1,69	9
	75,61	2,05	---	---	---		907,8	-0,73	9*
72,54	76,51	1,66	---	---	---	1019,5	963,3	-1,67	9
	77,39	2,03	---	---	---		996,0	-0,70	9*
---	---	---	34,93	35,06	0,12	532,4	542,8	0,59	10
---	---	---	33,22	33,21	-0,01	531,9	543,3	0,65	10
---	---	---	32,73	55,88	21,43	---	---	---	11
---	---	---	33,48	57,30	21,56	---	---	---	11
---	---	---	---	---	---	1631,9	1587,9	-0,82	12
---	---	---	---	---	---	1618,8	1576,0	-0,80	12
Nucleido: ^{131}I Jeringa plástica			Nucleido: ^{201}Tl Jeringa plástica			Nucleido: $^{99\text{m}}\text{Tc}$ Jeringa plástica			---
75,72	74,41	-0,53	17,75	17,71	-0,06	209,01	202,47	-0,95	3
75,36	74,35	-0,40	---	---	---	952,97	915,75	-1,18	4
---	---	---	---	---	---	34,37	33,30	-0,94	5
78,11	76,23	-0,73	---	---	---	---	---	---	6
---	---	---	---	---	---	2959,4	2861,3	-1,00	7
73,63	77,62	1,64	---	---	---	452,6	417,2	-2,37	9
	78,75	2,11	---	---	---		432,1	-1,37	9*
---	---	---	28,89	29,01	0,13	215,7	201,6	-1,98	10
---	---	---	28,89	49,79	21,92	---	---	---	11
---	---	---	---	---	---	759,0	728,2	-1,23	12

* Resultado de la medición de la misma muestra por el mismo participante en otro

CIENCIAS NUCLEARES

En las figuras 1 y 2 aparecen los valores individuales de este parámetro z, ordenados en forma ascendente, para ^{131}I y ^{201}Tl , respectivamente. Los valores de z con módulo mayor que cuatro no se han incluido en el gráfico. Como se aprecia en la tabla 2 y las figuras, los laboratorios participantes muestran un desempeño satisfactorio para la determinación de los dos radionucleidos en las dos geometrías

comúnmente utilizadas durante la práctica cotidiana. Excepciones resultan el laboratorio código 5, para ^{131}I y el código 11 para el ^{201}Tl .

En la figura 3 aparecen los valores individuales del parámetro z, ordenados en forma ascendente para el $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Todos los participantes muestran un desempeño satisfactorio para la determinación de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ en las geometrías utilizadas.

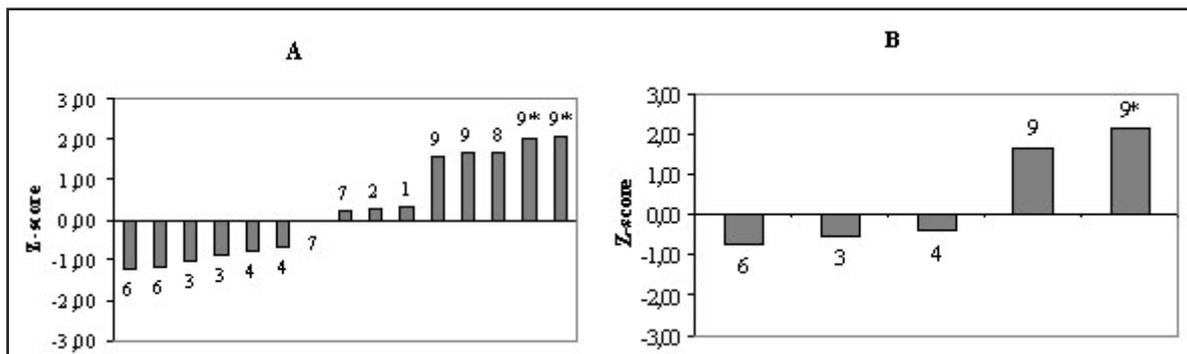


Figura 1. Valores de z-score, para las mediciones de ^{131}I : A) Geometría de frasco de vidrio P6. B) Geometría de jeringa plástica. Los valores de z con módulo mayor que 4 no se han incluido en el gráfico.

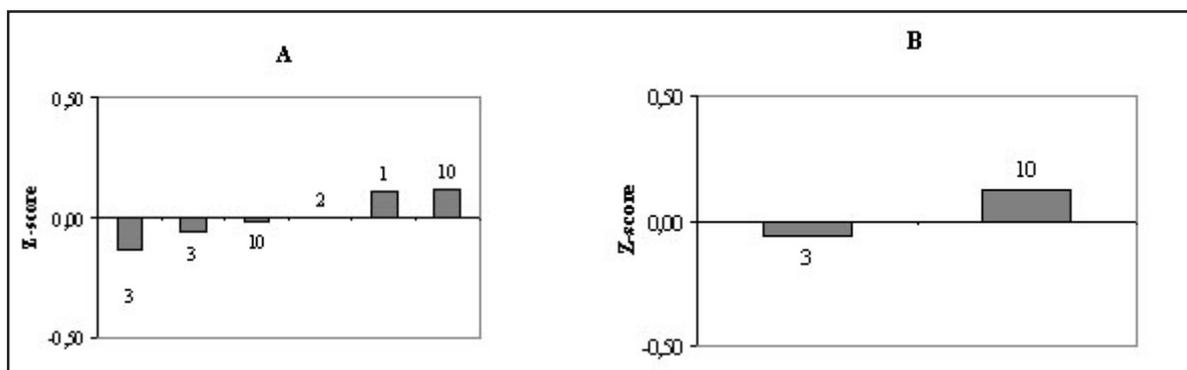


Figura 2. Valores de z-score, para las mediciones de ^{201}Tl : A) Geometría de frasco de vidrio P6. B) Geometría de jeringa plástica. Los valores de z con módulo mayor que 4 no se han incluido en el gráfico.

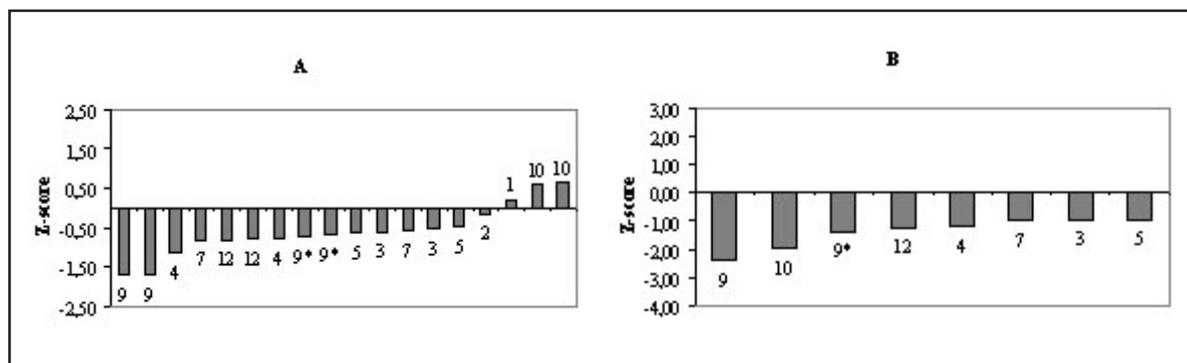


Figura 3. Valores de z-score, para las mediciones de $^{99\text{m}}\text{Tc}$: A) Geometría de frasco de vidrio P6. B) Geometría de jeringa plástica.

CIENCIAS NUCLEARES

Estos resultados indican que los instrumentos utilizados para las comparaciones presentan un estado satisfactorio en cuanto a calibración. Los laboratorios 5 y 11 deben su desempeño no satisfactorio a un error grosero: la selección incorrecta del radionucleido en el activímetro durante la medición de las muestras. En estos laboratorios no existe procedimiento escrito para efectuar las mediciones en el instrumento.

Los resultados de la prueba simulada de administración de actividad al paciente aparecen en la tabla 3. En la figura 4 se muestran los valores del parámetro z definido en la última

columna de la tabla 3, obtenidos para esta prueba por los diferentes participantes. Como indican estos resultados, la mayoría de los participantes, muestran un desempeño no satisfactorio para este tipo de determinación y evidencian que la administración al paciente de la actividad exacta planificada, debe ser considerada como un problema a resolver.

En particular, se detectó que la mayoría de los Departamentos no disponen de procedimientos escritos para la administración, y en ninguno de los procedimientos existentes los criterios de aceptación de la medición de la actividad

Tabla 3. Resultados de la prueba simulada de administración de actividad al paciente

Código del Participante	Nucleido	Actividad planificada, X_{plan} [MBq]	Actividad "administrada", X_{adm} [MBq]	z-score $(X_{adm} - X_{plan}) / 0,033 X_{plan}$
3	^{131}I	3,70	3,297	-3,30
	^{201}Tl	5,55	5,08	-2,57
	^{99m}Tc	37,0	40,74	3,06
4	^{131}I	1,11	1,295	5,05
5	^{131}I	6,96	0,600	-27,69
	^{99m}Tc	18,5	24,35	9,58
7	^{99m}Tc	6,0	6,142	0,72
9	^{131}I	19,35	17,61	-2,72
	^{99m}Tc	15,91	14,097	-3,45
9*	^{131}I	19,35	17,87	-2,32
	^{99m}Tc	15,91	14,578	-2,54
11	^{201}Tl	18,50	11,90	-10,81
10	^{201}Tl	8,12	8,81	2,58
	^{99m}Tc	3,80	4,50	5,58
12	^{99m}Tc	31,45	31,34	-0,11

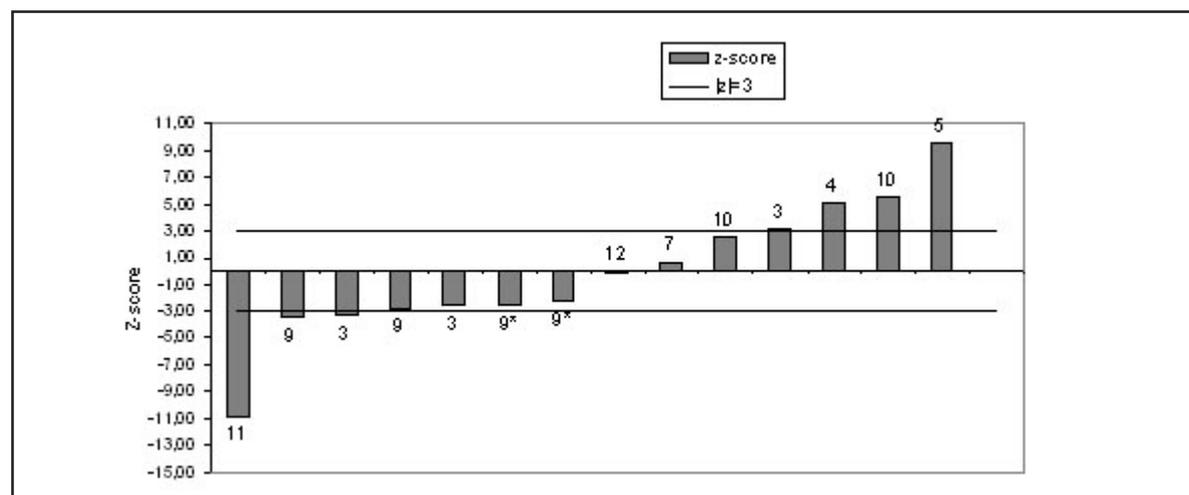


Figura 4. Valores de z-score para la actividad administrada al paciente. Los valores de z con módulo mayor que 12 no se han incluido en el gráfico.

a administrar están claramente definidos. La capacitación de los técnicos en esta temática es indispensable para elevar la calidad del servicio prestado al paciente.

CONCLUSIONES

- Los participantes demostraron un desempeño satisfactorio, en general, durante la medición de la actividad de ^{131}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ y ^{201}Tl en los activímetros empleando las geometrías usadas rutinariamente. No obstante, las deficiencias detectadas en dos de las instituciones participantes, demuestran que la posibilidad de cometer errores groseros está presente, por lo que deben tomarse acciones preventivas que reduzcan esos errores al mínimo.

- Los resultados demuestran que todos los instrumentos utilizados para la intercomparación presentan un estado satisfactorio en cuanto a la calibración.

- La administración al paciente de la actividad exacta planificada, debe ser considerada como un problema a resolver para elevar la calidad del servicio prestado. Se recomienda establecer procedimientos escritos para la administración, donde los criterios de aceptación de la medición de esta actividad queden claramente definidos, así como capacitar a los técnicos en esta temática.

- Las comparaciones realizadas demuestran la utilidad de este tipo de ejercicios para establecer la incertidumbre y trazabilidad de los resultados de las determinaciones de actividad realizadas en

Medicina Nuclear en el país y sirven de base para la toma de acciones correctivas y preventivas que mejoren la calidad del servicio prestado a los pacientes.

- Estos resultados reflejan la necesidad de establecer sistemas de calidad en la medicina nuclear cubana.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de los analistas e instituciones participantes, los cuales contribuyeron significativamente con su tiempo e instalaciones a la ejecución de las comparaciones.

Reconocemos la participación de Stefan Gutiérrez Lores durante la preparación y controles de las muestras de la comparación de ^{131}I .

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] European Pharmacopoeia, Strasbourg, Commission of the European Communities, Section of Health, 1986.
- [2] International Standards Organization and International Electrotechnical Committee, Proficiency testing by interlaboratory comparisons - Part 1: Development and operation of proficiency testing schemes, ISO/IEC Guide 43-1, 1997.
- [3] OROPESA, P., SERRA, R., GUTIÉRREZ, S., HERNÁNDEZ, T., A Procedure for the Standardization of Gamma Reference Sources for Quality Assurance in Activity Measurements of Radiopharmaceuticals, Appl. Rad. Isot. Vol.56/6(2002)787-795.
- [4] Nucléide, Nuclear and Atomic Decay Data, Version 1-98-19/12/1998, CEA Laboratoire Primaire des Rayonnements Ionisants.

EMPLEO DE TRAZADORES EN LA OBTENCIÓN DE MODELOS DE CALIDAD DE AGUA EN EL RÍO ALMENDARES

Judith Domínguez Catasús¹, Jorge Borroto Portela¹, Anel Hernández Garcés², Esperanza Pérez Machado¹

¹ Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Nucleares (InsTEC), Departamento de Radioquímica

² Centro Nacional de Seguridad Nuclear (CNSN)

¹ Carlos III y Luaces, Quinta de los Molinos, Plaza, Ciudad de La Habana, Cuba

² Calle 28 e/ 5ta y 7ma, Miramar, Playa, Ciudad de La Habana, Cuba

Resumen

El río Almendares, cuerpo de agua que atraviesa seis de los más importantes municipios de la Ciudad de La Habana, presenta un notable deterioro en la calidad de sus aguas. El análisis de parámetros como la demanda bioquímica de oxígeno y el déficit de oxígeno disuelto es de gran importancia en estudios dirigidos a su recuperación.

En el manejo de la contaminación de los ríos, es práctica mundial ajustar modelos matemáticos que relacionen los parámetros fisicoquímicos y biológicos que lo caracterizan con los niveles de calidad de sus aguas.

En el presente trabajo se calibró y validó el modelo combinado, advection de estado permanente de Streeter y Phelps para describir el comportamiento del oxígeno disuelto y la demanda de oxígeno carbonacea en el Almendares.

El empleo del ^{99m}Tc y la Rodamina WT como trazadores y el arreglo de aforo diseñado permitieron realizar toda la caracterización hidrodinámica necesaria para la modelación.

USE OF TRACER TO CALIBRATE WATER QUALITY MODELS IN THE RIVER ALMENDARES

Abstract

The Almendares river, one of the most important water bodies of the Havana City, is very polluted. The analysis of parameters as dissolved oxygen and biochemical oxygen demand is very helpful for the studies aimed to the recovery of the river.

There is a growing recognition around the world that the water quality models are very useful tools to plan sanitary strategies for the management of wastewater contamination to predict the effectiveness of control options to improve water quality to desired levels.

In the present work, the advection, steady-state Streeter and Phelps model was calibrated and validated to simulate the effect of multiple-point and distributed sources on the carbonaceous oxygen demand and dissolved oxygen.

The use of the ^{99m}Tc and the Rodamina WT as tracers allowed determining the hydrodynamic parameters necessary for modeling purposes.

Palabras clave: chemical state, Cuba, rivers, isotope ratio, radioactive tracer logging, sorption, surface waters, technetium 99, tracer techniques, rhodamines

INTRODUCCIÓN

El río Almendares de la Ciudad de La Habana presenta grandes problemas de contaminación, sobre todo, aguas abajo del punto de descarga de la Estación de Depuración de Aguas Residuales (EDAR) en María del Carmen ubicada en el Km 14,45 desde la desembocadura. A esta planta derivan los residuos industriales y domésticos del municipio Boyeros que, en el mejor de los casos, reciben tratamiento primario. También ingresan al cauce principal del río en esta zona cuatro arroyos: Paila, Marinero, Mordazo y Santoyo, que aportan una contaminación adicional (figura1).

La modelación matemática es una herramienta muy empleada y útil en la planificación de estrategias medioambientales para recuperar ecosistemas [1]. Se aplican diferentes modelos en dependencia de las necesidades y condiciones de las aguas receptoras y de los residuales que a ella se vierten [2]. En el trabajo se calibró y validó el modelo combinado de Streeter y Phelps [3] para el análisis en el estado permanente de ríos, donde la dispersión no es significativa en comparación con el transporte advection.

Este modelo describe la calidad del agua en términos de oxígeno disuelto (OD) y demanda

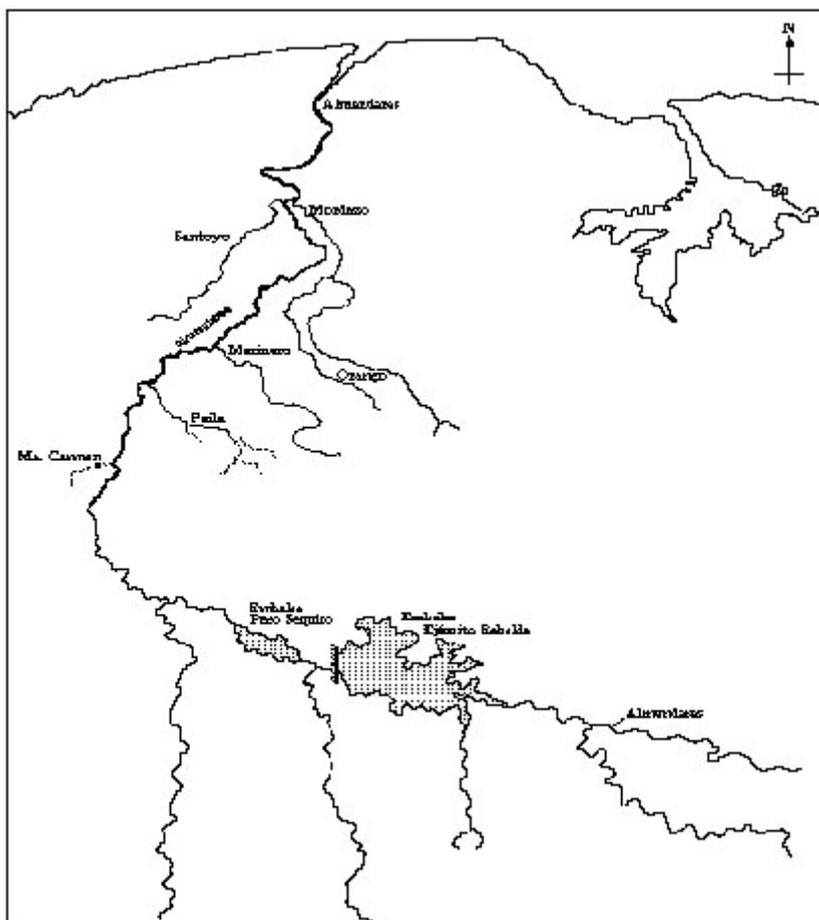


Figura 1. Cuenca el Río Almendares (CITMA, 1998).

bioquímica de oxígeno carbonácea (DBOc) en función de las características morfológicas, hidrodinámicas y de los procesos físicos, químicos y biológicos que tienen lugar en el río, teniendo en cuenta la demanda de oxígeno de los sedimentos (DOS), el efecto neto de la fotosíntesis (P) y la respiración de las plantas acuáticas (R). El modelo empleado es conveniente toda vez que los residuos vertidos al río son prácticamente crudos.

La modelación asumida presupone el balance de masa de los parámetros de calidad en segmentos consecutivos del río, teniendo en cuenta los niveles existentes y los incorporados a través de fuentes puntuales o dispersas. Este proceso lleva implícito una caracterización hidrodinámica de la sección seleccionada que permite, por una parte, cuantificar los caudales de los tributarios y por otra determinar los parámetros morfológicos de los segmentos establecidos a partir de la velocidad de la corriente.

El río Almendares se caracteriza por zonas de muy baja profundidad, abundantes sólidos flotantes de diverso origen y baja velocidad. En estas condiciones se dificulta la obtención de los parámetros hidrodinámicos por métodos

convencionales. El ^{99m}Tc como radiotrazador y la Rodamina WT como trazador fluorescente se emplearon con este fin.

Con ayuda de estos modelos será posible realizar predicciones acerca de los niveles de calidad que podrían alcanzarse luego de la aplicación de alternativas de saneamiento del río y elaborar estrategias con este fin.

MATERIALES Y MÉTODOS

Establecimiento del Modelo conceptual del río

Se estudió la zona del río comprendida entre el punto donde la Estación de Depuración de Aguas Residuales María del Carmen vierte al Almendares y el Puente del Bosque de La Habana en el Parque Metropolitano. Con fines de modelación, la sección seleccionada se dividió en 11 segmentos (tabla 1). Los criterios asumidos en la definición de sus límites están relacionados con la homogeneidad de los parámetros morfológicos del río y con la incorporación de aportes significativos de DBOc o de OD al cauce principal.

Tabla 1. Segmentos definidos para la modelación de la sección del río

	Desde	Hasta	Final del segmento (km)
1	Antes de Ma. del Carmen	Ma. del Carmen	14,45
2	Ma. del Carmen	Arroyo Paila	12,11
3	Arroyo Paila	Arroyo Marinero	10,25
4	Arroyo Marinero	Papelera Moderna	8,2
5	Papelera Moderna	Puente de Husillo	8,13
6	Puente Husillo	Puente de La Polar	5,25
7	Puente La Polar	Puente Ave. 51	5,05
8	Puente Ave. 51	Arroyo Mordazo	4,95
9	Arroyo Mordazo	Fab. Computas Osito	4,77
10	Fab. Computas Osito	Tropical	3,93
11	Tropical	Puente del Bosque	3,5

El primer segmento caracteriza al río antes de recibir la carga del canal de vertimiento de la estación de depuración María del Carmen. En los segmentos dos, tres y cuatro se tienen en cuenta los aportes de este canal, del arroyo Paila y del arroyo Marinero respectivamente.

El quinto segmento es de poca extensión, sin embargo, la presencia de rápidos en la antigua represa el Husillo brinda al río una oxigenación no despreciable. En el sexto, se considera el aporte de materia orgánica incorporada al río a través de fuentes dispersas provenientes fundamentalmente de la población que habita en las riberas del río caracterizado, en esa zona, por una alta densidad poblacional.

En el séptimo se incluye el arroyo Santoyo con nuevos aportes de aguas residuales de origen doméstico. El segmento siguiente se define por la presencia de la cascada artificial de la papelera La Cubana en el puente de la Avenida 51 (Marianao), que propicia una reaeración artificial. Más adelante confluye con el Almendares el arroyo Mordazo considerado en el tramo nueve.

Las descargas al río de los efluentes de la fábrica de computas Osito y de la fábrica de cervezas Pedro Marrero (La Tropical) definen los segmentos 10 y 11, estas aunque muy pequeñas con relación al caudal son las mayores en cuanto a DBO.

Determinación de los parámetros hidrodinámicos

Se realizaron dos campañas de campo para estudiar al río en dos condiciones de caudal extremas. La caracterización hidrodinámica necesaria para la modelación se realizó con trazadores [4]. La velocidad de la corriente se determinó por el método del tiempo de tránsito del trazador y el caudal por la técnica de integración [5].

Durante la primera campaña realizada, de noviembre de 1998 a febrero de 1999, se empleó el $^{99m}\text{TcO}_4^-$ eluido del generador de $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ como trazador.

Una inyección en disparo se realizó al inicio de cada segmento. El paso de la nube radiactiva fue registrado on-line en cada estación de medición, con una sonda de centelleo sólido de NaI(Tl) acoplada a un ratímetro portátil (Kontron Electronic, Francia).

En los estudios de trazado de la segunda campaña, de noviembre de 1999 a febrero de 2000, se empleó una solución al 20% de Rodamina-WT. El paso del trazador se registró por el método del muestreo y para las mediciones de fluorescencia se utilizó el fluorómetro Turner (10-005, USA), con un error de 0,1 ppb.

Para garantizar la continuidad de la información registrada a través del río, la inyección del trazador se realizó en la estación de medición del segmento anterior, siempre conservando la distancia de buena mezcla.

A partir de los valores de la velocidad media de la corriente se estimaron los parámetros morfológicos de los segmentos utilizados en la modelación.

Arreglo de campo para la determinación de los parámetros hidrodinámicos del río con trazadores

La sección del río en estudio se dividió esta vez en cinco tramos (tabla 2). La extensión de cada uno está relacionada con la segmentación asumida en el modelo conceptual y con la determinación práctica del caudal y la velocidad.

En el primer tramo, la estación de medición se situó justamente antes de la confluencia del arroyo Paila con el Almendares, incluyendo el aporte del canal de evacuación de los residuales de la planta de tratamiento en María del Carmen.

De forma independiente se midió el caudal del canal para calcular el del río antes de su incorporación.

En el segundo segmento la medición se realizó antes de la confluencia del arroyo Marinero incluyendo en este el aporte del arroyo Paila. En el

Tabla 2. Segmentos comprendidos entre María del Carmen y el Puente del Bosque

Seg	Desde:	Hasta:	Largo del segmento (Km)
1	María del Carmen	Arroyo Paila	2,94
2	Arroyo Paila	Arroyo Marinero	1,83
3	Arroyo Marinero	Puente de Husillo	2,30
4	Puente de Husillo	Puente de La Polar	2,50
5	Puente de La Polar	Puente del Bosque	2,13

tercer tramo se considera al Marinero como nuevo aporte de caudal y termina antes de la zona de rápidos ubicada en las cercanías del puente Husillo. A manera de comprobación se determinó el caudal del Marinero de forma independiente. El cuarto tramo comprende los rápidos y termina antes de la afluencia del arroyo Santoyo. El último incluye el aporte de los arroyos Santoyo y Mordazo y la cascada artificial de la papelera de puentes grandes. En este caso por problemas de accesibilidad no fue posible subdividir el tramo.

El caudal del Santoyo se midió de forma independiente para calcular el del Arroyo Mordazo, considerando que no hay presencia de otras fuentes con caudal significativo en este segmento.

Cálculo de la distancia de buena mezcla

El largo de los segmentos del arreglo de aforo debe garantizar una buena mezcla del trazador con la corriente. No existe un criterio único para el cálculo de este parámetro por lo que se utilizaron tres diferentes, buscando orientación acerca de cuál se debía asumir en las condiciones del río Almendares.

$$\text{Según Hull [6]: } L = K \cdot Q^{1/3} \quad (1)$$

Donde K es un coeficiente igual a 50 si la inyección se hace en el centro de la corriente y 200 si es en la orilla, y Q es el caudal del segmento.

Según Guizerix y Florkowski [7]:

$$L = 10 \cdot \sqrt{\frac{b^3}{h}} \quad (2)$$

Donde b es el ancho promedio y h es la profundidad promedio de la corriente.

$$\text{Según Yostsukura [8]: } L = 2.6 \cdot u \cdot \frac{b^2}{h} \quad (3)$$

Donde u es la velocidad de la corriente.

Cálculo de la actividad o cantidad de trazador a inyectar

La masa de Rodamina WT y la actividad de $^{99m}\text{TcO}_4$ a inyectar se calcularon asumiendo que luego de mezclarse completamente se distribuyen por el modelo de dispersión [9], suponiendo una concentración de Rodamina WT de 20 ppb y una concentración de $^{99m}\text{TcO}_4$ que garantice 150 cps en el punto de medición. Algunas variaciones se aplicaron al modelo para considerar la naturaleza radiactiva del tecnecio (ecuación 4).

$$A = \frac{n \cdot S}{F_{99,9\%}} \cdot 2 \sqrt{\pi \cdot D_{\text{dis}} \cdot \frac{x}{v}} \cdot e^{(-\lambda \cdot t)} \quad (4)$$

Donde n es la tasa de conteo (conteos/T), $F_{99,9\%}$ es el factor de sensibilidad para la detección del 99,9% de la radiación [10] (counts/T * L_3 /mCi.), D_{dis} es el coeficiente de dispersión longitudinal (L^2/T) según Thoman [11], $e^{(-\lambda \cdot t)}$ es el factor de corrección por la desintegración radiactiva del ^{99m}Tc , x (L) es la distancia hasta el punto de inyección, v (L/T) es la velocidad media de la corriente y S (L^2) el área promedio de la sección transversal del río.

Determinación de los parámetros cinéticos del modelo

La constante de remoción de la DBOC_5 (kr) se determinó para cada segmento como la pendiente de la dependencia lineal establecida entre al menos tres valores del Ln de la DBOC_5 y su correspondiente tiempo de tránsito [12]. El coeficiente de reaeración (k_a) se calculó por la fórmula de O'Connor-Dobbins [13] recomendada para ríos como el Almendares, no muy profundos y lentos. La constante de remoción por sedimentación (K_s) se estimó para aquellos segmentos que reciben una carga significativa de residuos sedimentables (segmentos dos, cuatro, seis y nueve) asumiendo 0,05 m/d como valor promedio de velocidad de sedimentación.

Mediciones de calidad

Para las mediciones de calidad se estableció una red de 22 estaciones. Las muestras se extrajeron del centro de la corriente y se conservaron en botellas de polietileno. La DBO₅ se determinó por el método de dilución y siembra [14] y se asumió el factor 1,43 para obtener la DBO₂₀. El OD y la temperatura se determinaron *in situ*, con el oxímetro de campo (OXI-197, Francia) y un error de 0,2 mg/L y 0,2°C respectivamente.

Se determinó la demanda de oxígeno de los sedimentos para muestras extraídas en la vecindad de la fábrica de helados Coppelía, caracterizados por una elevada componente orgánica [15].

Calibración del modelo

Las mediciones de calidad obtenidas en la primera campaña así como los parámetros morfológicos e hidrodinámicos correspondientes se emplearon para la calibración del modelo, mientras que los datos de la segunda campaña se utilizaron en la validación/verificación.

Para el cálculo del OD y la DBOc a partir de las ecuaciones del modelo de Streeter y Pheelps se empleó el software Beam-Calag [16] concebido como una aplicación sobre Windows de 32 bit, que usa el Borland Delfy 3,0 como lenguaje de programación y el procesador matemático 8087. El método de prueba y error, a partir del ajuste visual de los datos experimentales y los calculados por los modelos, se asumió como criterio durante el proceso de calibración/validación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La fórmula de Yostsukura (ecuación 3) subvalora la distancia de buena mezcla en corrientes como la del río Almendares. La fórmula de Guizerix y Florkowski (ecuación 2) ofrece los valores más altos para las dos campañas pero en todos los casos fueron menores en cientos de metros que la extensión de los respectivos tramos (tabla 3).

Se ubicaron las estaciones de medición y muestreo en los límites de cada segmento para asegurar la distancia de buena mezcla teniendo en cuenta además la accesibilidad a la corriente, la existencia de puentes, entre otros.

En la tabla 4 aparecen las actividades de ^{99m}TcO₄⁻ y la cantidad de Rodamina WT calculada para cada tramo.

En todos los casos las cantidades de trazador incorporadas aseguraron una buena estadística de medición.

El arreglo de aforo utilizado permitió, junto a las mediciones de calidad de agua, determinar todas las contribuciones de carga consideradas en el proceso de modelación y mostró condiciones de caudal altamente deprimidas en la primera campaña (tabla 5).

Esta es precisamente la condición más frecuente del río. Tanto el caudal del cause principal como el de los tributarios es mucho menor que los usados en el proceso de validación de los modelos de OD y DBOc. La segunda campaña se realizó luego del paso del ciclón Irene por la Ciudad de La Habana.

Tabla 3. Resultados del cálculo de la distancia de buena mezcla para las dos campañas

Ecuac.	I		II		III		IV		V	
	1 ^{ra}	2 ^{da}								
1 (m)	159	260	186	263	238	287	252	307	288	337
2 (m)	763	1000	164	348	493	721	298	347	959	908
3 (m)	21	275	14	105	86	305	32	65	198	219

Tabla 4. Cantidad o actividad de trazador a inyectar

Tramo	Actividad de ^{99m} TcO ₄ ⁻ (GBq)	Masa de Rodamina WT (µg/L)
	1 ^{ra} campaña	2 ^{da} campaña
I	7,881	336,768
II	1,036	83,974
III	4,514	223,754
IV	5,883	214,640
V	12,839	355,832

Tabla 5. Caudal de los tributarios y áreas promedio de la sección transversal de los segmentos

Seg.	tributario	1 ^{ra} campaña		2 ^{da} campaña	
		Q (m ³ /s)	A (m ²)	Q (m ³ /s)	A (m ²)
1	Caudal inicial del río	0,391 ± 0,05	4,9	1,8 ± 0,05	10,42
2	María del Carmen	0,14 ± 0,03	6,76	0,42 ± 0,04	10,42
3	Paila	0,02 ± 0,01	3,34	0,06 ± 0,01	6,89
4	Marinero	0,23 ± 0,04	6,03	0,67 ± 0,06	9,95
5	–		6,09		9,95
6	Fuentes dispersas	0,356 ± 0,06	12,00	0,356 ± 0,01	16,96
7	Santoyo	0,45 ± 0,04	14,7	0,65 ± 0,06	18,97
8	–		14,97		18,97
9	Mordazo	0,67 ± 0,06	20,11	0,99 ± 0,08	24,11
10	Fábrica de compotas Osito	(2,0 ± 0,2) × 10 ⁻³	20,21	(2,0 ± 0,2) × 10 ⁻³	24,21
11	Fábrica de cervezas La Tropical	(2,0 ± 0,2) × 10 ⁻³	21,26	(2,0 ± 0,2) × 10 ⁻³	25,26
	Flujo total	2,30 ± 0,12		4,78 ± 0,41	

El empleo de la técnica de trazado para la determinación de la velocidad de la corriente permitió asumir como valor promedio el área calculada a partir de ella y del caudal.

Durante la calibración del modelo se consideraron cargas de 82,5 y 547 Kg/d de oxígeno en los segmentos cinco y ocho a causa de los rápidos y de la cascada artificial respectivamente. Se estimó una carga dispersa de 778 Kg/d.km en el segmento seis.

En correspondencia con los valores de caudal y de concentración de oxígeno, se determinó que durante la segunda campaña se incorporaron al río cargas de 153 y 1792 Kg/d de oxígeno, mientras que la contribución de las fuentes dispersas fue la misma.

En las dos etapas del proceso se valoró la influencia de los sedimentos en el consumo del oxígeno disuelto en los segmentos del dos al cuatro en el seis y el nueve. Si 1,85 g/m².d fue el valor obtenido para el segmento dos, se estimó el 80% de este para el resto de los segmentos implicados.

La influencia del nitrógeno no fue considerada en la modelación del oxígeno disuelto. Para este tipo

de residuales, prácticamente crudos, el peso específico de la demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada en la disminución total del oxígeno, es mucho menor en comparación con el efecto de la componente carbonácea. No se tuvo en cuenta a influencia del efecto neto de la respiración y la fotosíntesis durante la validación pues el paso del ciclón arrastró hacia el mar la vegetación acuática que pudiera existir en el río.

En la tabla 6 se muestran las constantes cinéticas obtenidas en el proceso de calibración y empleadas en la validación.

A pesar de que las condiciones de caudal y los parámetros morfológicos son bien diferentes para las dos campañas puede concluirse, a partir de la inspección visual, que el modelo describe adecuadamente tanto el comportamiento de la DBO como el del OD en la sección estudiada del río Almendares (figura 2 y 3).

El modelo obtenido, calibrado y validado mostró ser una herramienta predictiva efectiva para el rango definido por los datos experimentales empleados durante el proceso de calibración y validación.

Tabla 6. Parámetros cinéticos del modelo de OD-DBO

Segment	Kr (1/día)	Kd (1/día)	Ka (1/día)
1	0,60 ± 0,05	0,60 ± 0,05	3,39 ± 0,34
2	0,50 ± 0,05	0,40 ± 0,04	3,34 ± 0,37
3	0,45 ± 0,04	0,34 ± 0,03	3,39 ± 0,34
4	0,45 ± 0,04	0,35 ± 0,03	3,50 ± 0,36
5	0,23 ± 0,02	0,23 ± 0,02	3,48 ± 0,36
6	0,14 ± 0,01	0,10 ± 0,01	0,79 ± 0,09
7	0,86 ± 0,08	0,86 ± 0,08	2,27 ± 0,24
8	0,86 ± 0,08	0,86 ± 0,08	2,27 ± 0,24
9	0,50 ± 0,05	0,43 ± 0,05	2,17 ± 0,21
10	0,50 ± 0,05	0,43 ± 0,05	2,12 ± 0,21
11	0,50 ± 0,05	0,43 ± 0,05	2,43 ± 0,24

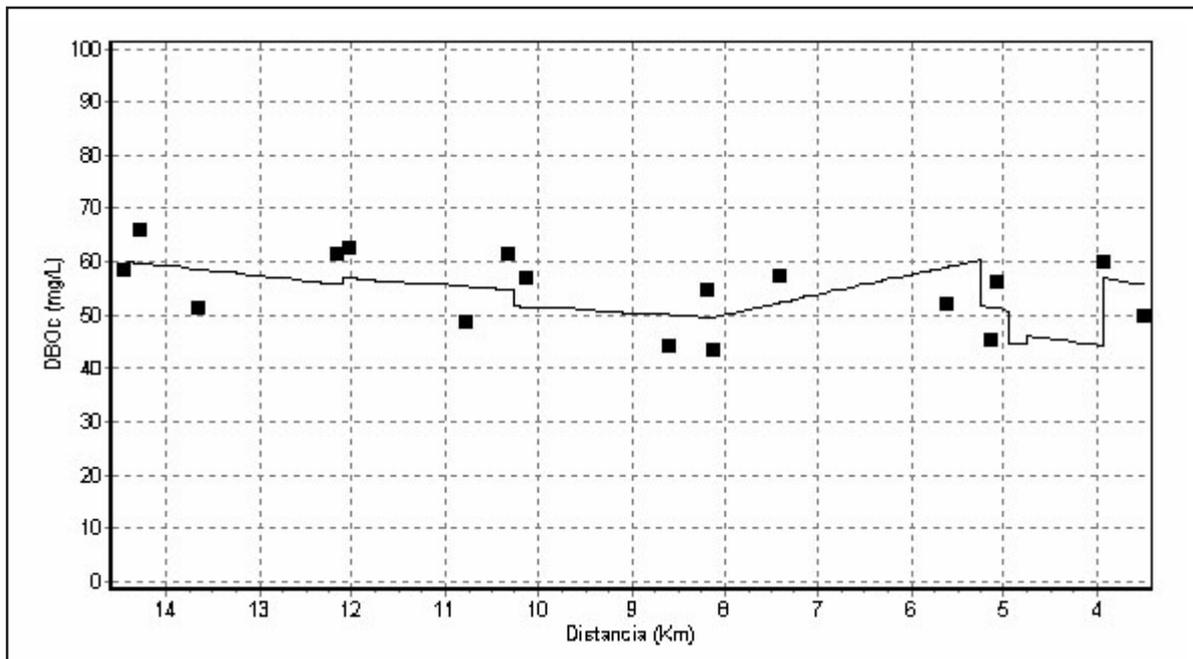


Figura 2. Datos experimentales y modelo de la DBOc.

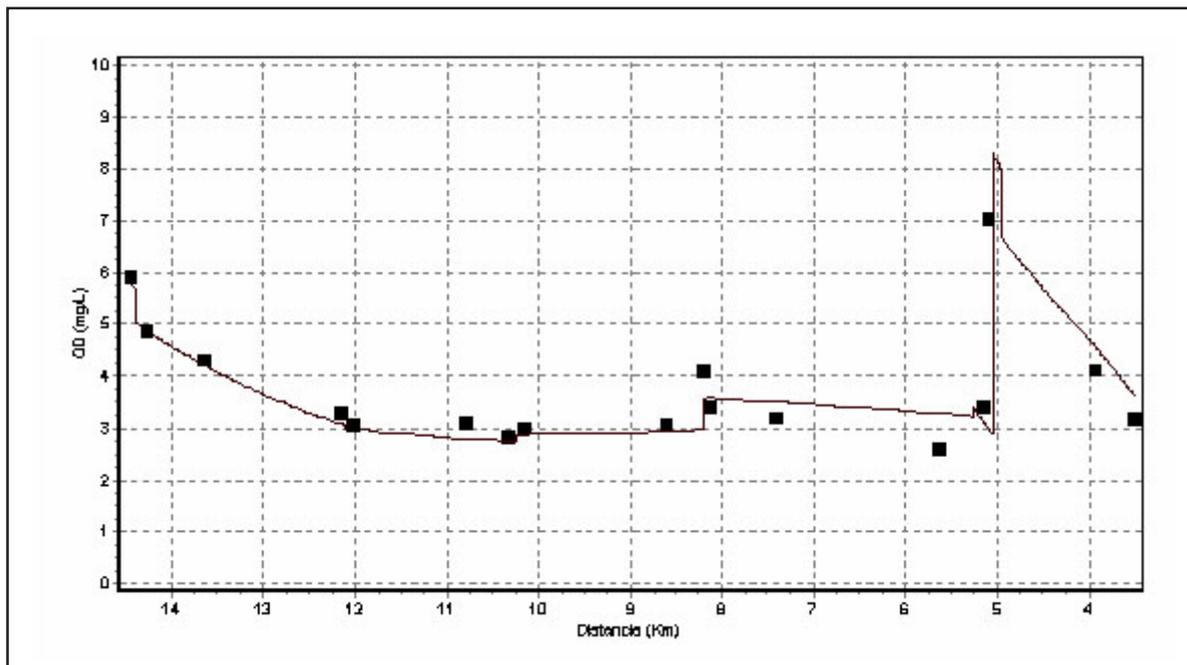


Figura 3. Datos experimentales y modelo para el OD.

CONCLUSIONES

Resultó adecuado el modelo conceptual definido y la estrategia de modelación asumida. El empleo del ^{99m}Tc y la Rodamina WT como trazadores y el arreglo de aforo diseñado permitieron realizar toda la caracterización hidrodinámica necesaria para la modelación.

El modelo combinado de Streeter y Phelps calibrado y validado simula adecuadamente el OD y la DBOc en la sección estudiada del río Almendares como respuesta al impacto de descargas que incidan en la variación de estos parámetros, para diferentes condiciones morfológicas y de flujo. Las predicciones se pueden emplear en la valoración de estrategias de saneamiento del río.

El software BEAM-Calag, desarrollado para automatizar el proceso de calibración-validación del modelo resultó muy conveniente, amigable y eficiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BUTTER, F.A.G., HOFKES, M.W., Endogenous Technology and Environmental Quality in Economic Models, J. Environmental Technology and Management, Vol.1, No.1/2(2001)32-34.
- [2] MCGRAW-HILL, Series in Water resources and Environmental Engineering Models for Water Quality Management, ISBN 0-07-005481-9, England (1981).
- [3] BORROTO, J. DOMÍNGUEZ, J. y otros, Metodología de trazadores para el estudio de transporte de contaminación en agua, Memorias del III Taller de la cátedra de Medio Ambiente del CITMA, ISBN 01673-01673 (1997) IMP-06.
- [4] PLATA, A., MOSER, M., Guide to the Safe Handling of Radioisotopes in Hydrology, IAEA, Viena (1990)36.
- [5] DOMÍNGUEZ, J., BORROTO, J. y otros, Medición de caudal en el río Almendares empleando ^{99m}Tc como radiotrazador, Serie Contribución a la educación y la protección ambiental, Vol. Hombre y Medio Ambiente, ISBN 959-02-0213-6 (1998)173.
- [6] Nuclear Techniques in the Study of Pollutant Transport in the Environment. Interaction of Solutes with Geological Media, TECDOC-713, IAEA, Viena (1993)71.
- [7] Guide Book on Nuclear Techniques in Hydrology, T.R.S 91, IAEA (1983).
- [8] KILPATRIC, F.A., MARTEN, L., A. Wilson, J.F., Measurement of time of travel and Dispersion by Dye, Book 3.Chapter A9 1970.
- [9] KÁSS, W. Tracer Techniques in Hydrogeology, Balkema, Rotterdam, Brookfield, 1998.
- [10] GASPAR, E., Modern Trends in Tracer Hydrology, CRC Press, Inc., Boca Ratón, Florida (1987)9.
- [11] THOMANN, R. V., MULLER, J. A., Principles of Surface Water Quality Modeling and Control, Harper & Row Publisher Co., New York (1987)75.
- [12] DOMÍNGUEZ, J., BORROTO, J., PÉREZ, E. y otros, Determinación de parámetros del modelo de calidad de agua del río Almendares. Contribución a la protección y Educación Ambiental. Vol. 2, ISBN-959-7136-09-0, Editorial Academia, La Habana, 2001.
- [13] O'CONNOR, D. J., THOMAN, R. V., MANCINI, J. L., SALAS, H. J., Simplified Mathematical Modeling of Water Quality, Environmental Protection Agency, Washinton, D.C, 20460, 1971.
- [14] UNE 77-003-89, Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Método de dilución y siembra, 1989.
- [15] PÉREZ, E., DOMÍNGUEZ, J., BORROTO, J. y otros, Especiación sólida de trazas de metales en sedimentos del río Almendares. Contribución a la protección y educación ambiental, Vol. ISBN 959-02-0253-5 1999.
- [16] HERNÁNDEZ, A., DOMÍNGUEZ, J., BORROTO, J. Water quality Software Beam-Calag, version1, 2002.

Los metales pesados han acompañado al hombre durante su historia. Desde épocas remotas (siglo XCV a.n.e.) estos metales han estado asociados al poderío de los imperios y al esplendor de sus culturas.

Los histo
para den
de las ed
Pero en l
cumple p
está sepa
incluso d
uno de lo
que inter
Así pues,
metales p

El uranio
descubie
óxido de
tuvo una
primeras
1939 cua
toman in
liberación
el proyec
que el ur
combusti
muy baja
aumentar
enriquec
cantidad
uranio en
238 y po

Medio sig
miles de
medio m
un proce
por la pr
foráneas

El uranio
proyecil
permiten
material
tanto cal

Cuando
uranio empobrecido arde y se d
tóxicas y radiactivas. Los mecan
las mucosas dilatas y la immuno
vías respiratorias no protegen l
inhalado. El peligro se deriva pr
capaces de penetrar profun d
produce abundantemente duran
empobrecido.

La Organización Mundial de la S
concentración de metales pesad
plomo y mercurio. En el caso de
concentración máxima tolerable
aire.

Estimaciones realizadas indican
uranio empobrecido como cons
inmediatamente después del im
conducir a una aguda intoxicació
empobrecido que queda en sus
en el entorno del blanco oscila entre 0,3 y 30 milésimas de gramo por metro
cúbico de aire. Como puede observarse estas concentraciones superan
abrumadamente las concentraciones tolerables mencionadas anteriormente.

mejores resultados,

la
ducción a
on",
uentes de
Europea

do por hidrógeno
por las calles de
de Islandia, con el fin
emisiones
ambiente, además de
autobús dotado de
utilizan hidrógeno
ible común, es
recto de ECTOS
nsport System),
a (UE)
rtes

a se
rtación
ises
en las
hora la
ta tan
tipo de
za al
con
oyecto
tiliza de
s
tre las
nativas

Hasta ahora estudiadas el
hidrógeno es el que ha dado

Serie Energía

Alerta BOLETÍN INFORMATIVA

CUBAENERGÍA, Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía

Nº. 16

Publicamos trimestralmente datos y hechos relevantes, así como las tendencias y logros científicos de la energética en Cuba y el mundo.

Usted puede solicitarnos la ampliación de un tema publicado o la inclusión de alguno de su interés.

También aceptamos colaboraciones.

Ahora también puede consultarnos de manera electrónica en
www.cubaenergia.cu/bel-alert-inf/bel-alert-inf.htm
o solicitar su inscripción a nuestro boletín electrónico trimestral.

Para mayor información escribanos a
comercial@cubaenergia.cu

publicación trimestral sobre temas de ENERGÍA

Ud. puede adquirir nuestro Boletín mediante venta o suscripción.

Su pago puede ser en efectivo o por cheque.

El precio de venta por ejemplar es \$1.50 MN/MLC
y la suscripción anual (4 Nos) es \$ 5.00 MN/MLC

Para adquirir el Boletín diríjase a:

comercial@cubaenergia.cu

Dirija el cheque en MN a: Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía

Cuenta No 40242110091013 y en MLC a: CITMA-Nuclear: 000855



ARCAL

**ARCAL promueve
la cooperación regional
a través de:**

protección radiológica

seguridad nuclear

sanidad humana

agricultura

hidrología

industria

ciencias físicas y químicas

información nuclear

instrumentación nuclear

El Acuerdo regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y Tecnología Nucleares en América Latina (ARCAL) se basa en la cooperación horizontal, técnica y económica con el fin de promover el uso de las diversas técnicas nucleares y sus aplicaciones con fines pacíficos.

Países miembros:

Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, República Dominicana, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Haití, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Uruguay, Venezuela.

nucleus

LA REVISTA NUCLEAR DE CUBA

Una publicación semestral que divulga los avances y perspectivas de la energía nuclear en Cuba, así como otros temas de interés nacional e internacional relacionados con esta rama de la ciencia y la tecnología.

A través de Nucleus usted podrá conocer los logros de la aplicación de las técnicas nucleares en nuestro país en la medicina, la biología molecular, radiobiología, biotecnología, agricultura y la industria entre otros campos.

Publicamos artículos de especialistas nacionales y extranjeros que deseen enviar sus trabajos en español e inglés.

Si desea anunciarse en nuestra Revista siempre tendremos un espacio para usted

Las tarifas corresponden a una inserción del anuncio en español. Si desea aparecer en Nucleus por más de una ocasión puede disfrutar de los siguientes descuentos:

Por dos inserciones	10%
Por cuatro inserciones	15%

Ofrecemos también servicios de diseño y realización de su anuncio a precios que se convenian directamente con el interesado.

TARIFAS DE ANUNCIOS

Ubicación	Blanco y negro	A color
Reverso de portada y contraportada	600	800
Doble página	800	1000
Una página	400	600
2/3 página	300	500
1/2 página	200	300

PARAMÁS INFORMACIÓN CONTÁCTENOS EN:

Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA)
Calle 20 No. 4111-4113 e/ 18A y 47, Miramar, Playa, Ciudad de La Habana, Cuba.
Teléfono: 203 14 12 / 202 75 27 Fax: 204 11 88
E. Mail: comercial@cubaenergia.cu

COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO QUÍMICO DE ACMS HUMANIZADOS VS IGG HUMANA RADIOMARCADOS CON ^{99m}Tc

Alejandro Rivero Santamaría¹, Francisco I. Zayas Crespo², Niurka Mesa Dueñas², Adolfo J. Castillo Vitloch³

¹Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InsTEC), ²Instituto de Nefrología, (INEF), ³Centro de Inmunología Molecular (CIM)

¹ Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas

Carlos III y Luaces, Quinta de los Molinos, Plaza, Ciudad de La Habana, Cuba

² Instituto de Nefrología

Ave. 26 y Boyeros, Plaza, Ciudad de La Habana, Cuba

³ Centro de Inmunología Molecular

216 y 15, Siboney, Playa, Ciudad de La Habana, Cuba

Resumen

El propósito del trabajo consiste en comparar el comportamiento químico de anticuerpos monoclonales (AcMs) humanizados vs IgG humana radiomarcados con ^{99m}Tc . Para ello se analizaron tres inmunoglobulinas, la IgG humana y los AcMs humanizados R3 y T1. Los resultados muestran ligeras diferencias en cuanto al comportamiento de estas proteínas frente al marcaje con ^{99m}Tc , tanto en la pureza radioquímica, la estabilidad de esta y en la fortaleza del complejo ^{99m}Tc -proteína. Aunque las modificaciones realizadas a los AcMs murinos para humanizarlos pudieran o no afectar su comportamiento químico, los resultados indican que no se deben extrapolar directamente de una proteína a otra las condiciones para su radiomarcación, por el contrario se deben elaborar procedimientos particulares para cada AcM humanizado.

COMPARISON OF THE CHEMICAL BEHAVIOR OF HUMANIZED ACMS VS. HUMAN IGG RADIOLABELED WITH ^{99m}Tc

Summary

The purpose of this work is to compare the chemical behavior of humanized AcMs vs. human IgG radiolabeled with ^{99m}Tc . To this end, 3 immunoglobulins were analyzed, the IgG (human), the humanized monoclonal antibody R3 (AcM-R3h) and the humanized monoclonal antibody T1 (AcM-T1h). The results obtained reveal slight differences as regards the behavior of these immunoglobulins before the labeling with ^{99m}Tc , which shows differences in the chemical behavior of these proteins. Although in theory the modifications that are made to the AcMs in order to humanize them must not affect their chemical behavior, the obtained data indicate that the conditions for their radiolabeling should not be extrapolated from other proteins; on the contrary, particular procedures should be elaborated for each AcM-h.

Palabras clave: chemical preparation, immunoglobulins, liquid column chromatography, monoclonal antibodies, quality control, technetium 99

INTRODUCCIÓN

El descubrimiento del procedimiento para la generación de hibridomas por Kohler y Milstein [1], revolucionó el campo de la inmunología, la generación ilimitada de anticuerpos monoclonales (AcMs) para la investigación y las aplicaciones clínicas.

Los primeros AcMs correspondían a anticuerpos murinos [2], que presentan algunas desventajas, dentro de estas la más importante es la respuesta HAMA (Human Anti Murine Antibodies), la cual puede modificar todo el patrón de biodistribución y el aclaramiento sanguíneo del anticuerpo tras su administración a pacientes.

La manipulación genética y la remodelación por esta vía de los anticuerpos murinos ha conducido a la producción de AcMs quiméricos y humanizados, los cuales disminuyen la respuesta HAMA señalada para los AcMs murinos [3].

En el campo de la radiofarmacia se promueve actualmente la sustitución de los anticuerpos murinos por anticuerpos humanizados. Sin embargo, esta transferencia tecnológica supone un reto, ya que el comportamiento químico de los AcMs humanizados tras la radiomarcación con ^{99m}Tc , generalmente difiere del observado con la IgG humana o con AcMs de origen murino.

El objetivo del trabajo reside en comparar el comportamiento químico de dos anticuerpos monoclonales humanizados con la inmunoglobulina G humana (IgG-h) radiomarcados con ^{99m}Tc .

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de la ^{99m}Tc -IgG

Los experimentos se efectuaron con IgG-h policlonal no específica liofilizada, suministrada por el Centro de Hemoderivados de la Ciudad de La Habana. La radiomarcación de la proteína con ^{99m}Tc se realizó usando el método directo de Zayas [4], que utiliza el metabisulfito de sodio (MBS) para la reducción de los puentes disulfuros.

Preparación de ^{99m}Tc -AcM R3 y ^{99m}Tc -AcM T1

Los experimentos se realizan con los AcMs humanizados R3 y T1 suministrados por el Centro de Inmunología Molecular (CIM) en solución, cuya concentración es de 5 mg/mL. La radiomarcación de los AcMs humanizados con ^{99m}Tc se desarrolló por el método directo de Zayas [4] para la reducción de los puentes disulfuros.

Reducción y radiomarcación de las inmunoglobulinas

Para la reducción de la IgG-h con MBS se utilizó una solución que contiene 5 mg de IgG-h por mL de solución salina fisiológica estéril (SSFE), esta concentración se corroboró por lectura de la absorbancia a 280 nm, tomando un coeficiente de extinción molar de 1,4.

De esta solución se tomó un volumen que corresponde a 5 mg de IgG y se comenzó la reducción agregando 4,6 mg de metabisulfito de sodio (MBS), que equivale a una relación molar MBS/IgG de 750/1. La mezcla se agitó e incubó 45 minutos a temperatura ambiente. Concluida la reducción se adicionan 150 μL de una solución que contiene 0,35 μg de $\text{Sn}^{2+}/\mu\text{L}$ de HCl 0,02 N y 50 μmol de tartrato/mL, la cual se incubó con la IgG durante 7,5 minutos. La radiomarcación se produjo añadiendo 296 MBq de TcO_4^- , y se mezcló e incubó durante 30 minutos.

En la reducción de los AcMs humanizados R3 y T1 se tomaron 5 mg de proteína y se pusieron en contacto con 6,02 mg de MBS, proporción que corresponde a una relación molar 1010/1. La mezcla se dejó incubar durante 45 minutos y la radiomarcación se realizó como se describió para la IgG-h.

Controles de Calidad

Control de la pureza radioquímica

La determinación de la pureza radioquímica se realizó combinando la cromatografía de papel ascendente (CPA) [5], utilizando Whatman No. 1 y la cromatografía en columna con gel de Sephadex [6]. Para la realización de las cromatografías se tomaron alícuotas de cada radiofármaco, las que se aplicaron sobre tiras de papel (0,5 x 5 cm) Whatman No. 1 y se desarrollaron utilizando SSFE y acetona como solventes.

Terminado el desarrollo del cromatograma, las tiras se secaron en una estufa a 80°C, se cortaron por el punto medio y se contó la radiactividad de cada fracción de papel en un contador gamma automático (Clinigamma 1272, LKB-Wallac). Los resultados se expresaron como por ciento de la radiactividad asociada al punto de aplicación.

La determinación de los radiocoloides se efectuó por cromatografía en columna [6] de Sephadex G-25 M. A este fin se utilizó una columna cerrada comercial PD-10 (Pharmacia), se aplicó sobre la columna cerrada un volumen de radiofármaco y se midió la radiactividad en un activímetro. Se colocó la columna en un soporte, que permite el flujo de la aplicación a través de esta y seguidamente se lavó con 20 mL de SSFE, terminado el lavado y una vez seca la columna, se tapó nuevamente y se determinó la radiactividad residual, que se expresó en por ciento de la radiactividad inicial.

Se realizó un estudio de estabilidad en el tiempo para todos los radiofármacos. Para esto se determinó la pureza radioquímica transcurridos 30 minutos, 3 horas y 24 horas después.

Estudio de la fortaleza del enlace ^{99m}Tc -Inmunoglobulina

Se tomaron alícuotas de cada radiofármaco equivalentes a 31,0 μg de proteína y se pusieron en contacto con 1 260 μL de solución de DTPA 0,13 mg/mL y 500 μL de solución de cisteína (Cis) 0,19 mg/mL respectivamente. Estas cantidades representan relaciones molares DTPA/IgG de 2000/1 y Cis/IgG de 3000/1 [7]. Las mezclas se agitaron y a continuación se incubó durante 24 horas a temperatura ambiente. Transcurridas 4 horas se tomaron muestras para desarrollar CPA en SSFE, seguidamente se determinó el por ciento de radiactividad asociado al frente del cromatograma, al cual correspondió el por ciento de disociación del producto en el medio. Este procedimiento se repitió a las 24 horas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Preparación de ^{99m}Tc-Proteína

La radiomarcación de inmunoglobulinas se ha abordado siguiendo dos procedimientos [8]: métodos directos con un agente reductor que incrementa la proporción de grupos sulfhidrilos endógenos y métodos indirectos en los cuales a la proteína se le insertan agentes quelatantes exógenos.

Para el desarrollo de la radiofarmacia hospitalaria se prefiere la aplicación de los métodos directos, ya que son sencillos, de bajo costo y accesibles. Diversos agentes reductores [9-12] se han explorado en la reducción de las inmunoglobulinas. El más difundido corresponde al 2-mercaptoetanol (2ME) reportado por Schwarz [10].

Este procedimiento implica una elevada eficiencia de radiomarcación. Sin embargo, una desventaja importante es un obligado paso de purificación para eliminar el exceso de 2ME, ya que este interferirá posteriormente la radiomarcación del AcM por el ^{99m}Tc-reducido, desplazando el equilibrio de la reacción sobre sí, debido a su menor tamaño molecular, la elevada proporción en el medio y la capacidad quelatante del ^{99m}Tc-reducido equivalente a la del AcM reducido.

El MBS a diferencia del 2ME no interfiere en la radiomarcación [4], lo que constituye la principal ventaja del método, ya que evita la purificación requerida con el 2ME [10]. Es fundamental aclarar que la masa de MBS que se inyectaría al paciente está 1000 veces por debajo de los niveles tóxicos para el cuerpo humano [13]. Otra ventaja radica en que la permanencia del MBS favorece que los

grupos sulfhidrilos permanezcan aptos para acomplejar el ^{99m}Tc-reducido, lo cual garantiza la eficiencia de la radiomarcación.

La aplicación del metabisulfito de sodio (MBS) como reductor de los puentes disulfuros se efectuó [4] con la IgG-h, los resultados demostraron una elevada eficiencia de radiomarcación con ^{99m}Tc y estabilidad de la marca.

En una evaluación anterior con el AcM murino ior t3 [14], se encontró que la relación molar 750/1 (MBS/Proteína) aplicada a la IgG-h, era insuficiente para la reducción del AcM murino, requiriendo este una relación 1010/1 para que los resultados fueran equivalentes entre sí.

Este trabajo se propuso evaluar si existían diferencias en el comportamiento químico de dos AcMs humanizados con relación a la IgG-h, con la aplicación del MBS como reductor, ya que en un reporte previo [15] se habían encontrado diferencias entre el comportamiento del AcM murino ior t3 y la IgG-h.

Los resultados confirmaron nuestra hipótesis de evaluar el comportamiento químico de los AcMs humanizados en la radiomarcación, ya que éste puede ser diferente.

En la figura 1 se observa menor eficiencia en la radiomarcación del AcM T1 con relación al AcM R3 y la IgG-h. Las diferencias reflejadas son de baja magnitud pero no deben ser despreciadas, especialmente si evaluamos el comportamiento en el tiempo, donde se apreció que 3 horas después se encontró una discreta elevación de la eficiencia para el AcM T1 y transcurridas 24 horas prácticamente se equipara al AcM R3.

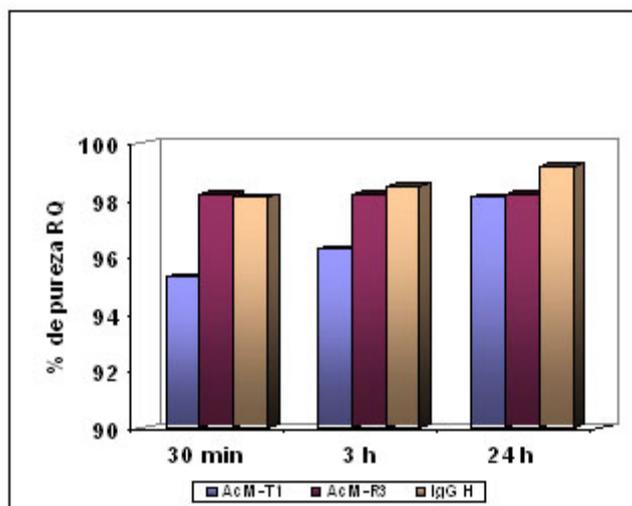
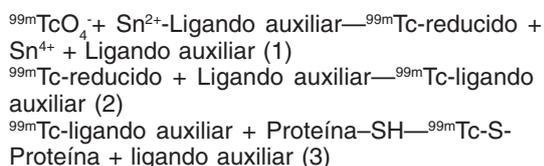


Figura 1. Comparación de pureza radioquímica.

Este comportamiento del AcM T1 pudiera explicarse a través del mecanismo de transquelación:



El desplazamiento del equilibrio hacia la formación del complejo $^{99m}\text{Tc-S-Proteína}$ dependerá de la estabilidad de este con relación a la estabilidad de los diferentes complejos $^{99m}\text{Tc-ligando auxiliar}$. El grupo-SH es un ligando más fuerte que el ligando auxiliar (tartrato) empleado en el experimento, por lo que el equilibrio se desplazará hacia la formación del complejo $^{99m}\text{Tc-S-Proteína}$. Sin embargo, el modo de desplazamiento hacia la reacción 3 dependerá fuertemente del grado de desplazamiento del equilibrio en la reacción 2.

El ácido tartárico y el metilendisfosfónico (MDP) presentan dos y cuatro constantes de disociación respectivamente. El ácido tartárico se disocia totalmente a pH 2,98 y el MDP a pH 9,39 [16], lo que justifica la ventaja del tartrato en trabajo, ya que el pH en que se efectuó la radiomarcación se mantuvo en el rango de 4-6.

En el resultado se debe asumir una cinética menor en la reacción 3 del AcM T1 con relación al AcM R3 y la IgG-h.

El AcM R3 se comportó de manera similar a la IgG-h [17], alcanzando elevadas eficiencias de radiomarcación. En las figuras 2-4 se reflejó la estabilidad de la pureza radioquímica en el tiempo. Para el AcM T1 se observó la elevación de este parámetro con el transcurso del tiempo. La fracción de radiocoloides fue inferior a 4,0% para las proteínas estudiadas en todos los tiempos.

Estudio de la fortaleza del enlace ^{99m}Tc -Inmunoglobulina

Tan importante como la pureza radioquímica es la fortaleza del complejo $^{99m}\text{Tc-Proteína}$, la cual se evalúa a través de competencias entre el radiofármaco y agentes quelatantes fuertes [7]. Para la evaluación de fortaleza se aplicaron cisteína y DTPA, reconocidos agentes quelatantes con elevadas proporciones molares.

En la figura 5 se presenta el resultado de la evaluación; para la cisteína se encontró con el AcM T1 mayor nivel de disociación en ambos tiempos con relación al AcM R3 y la IgG-h. Este hecho puede explicarse por el enlazamiento de una fracción del $^{99m}\text{Tc-reducido}$ a grupos de alta densidad y baja afinidad como aminos, carboxilos e hidroxilos, los que liberan el ^{99m}Tc en presencia de cisteína.

Los resultados para el DTPA reflejaron una paridad entre el AcM T1 y la IgG-h, observando mayor disociación para el AcM R3 a las 3 horas. Transcurridas 24 horas ambos AcMs son equivalentes y superiores sus disociaciones a la encontrada en la IgG-h. El incremento observado en la disociación del AcM T1, puede explicarse por el mecanismo referido anteriormente, el $^{99m}\text{Tc-reducido}$ enlazado a grupos de baja afinidad,

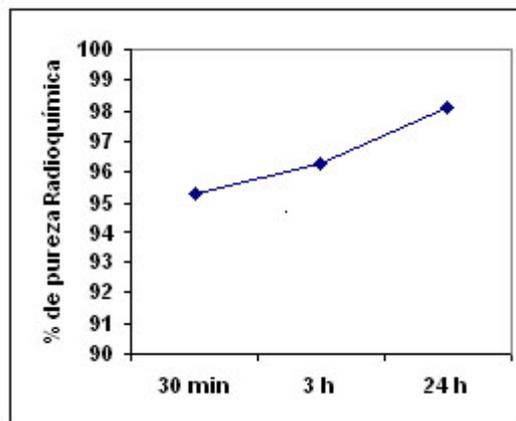


Figura 2. Estabilidad en el tiempo del AcM-T1h.

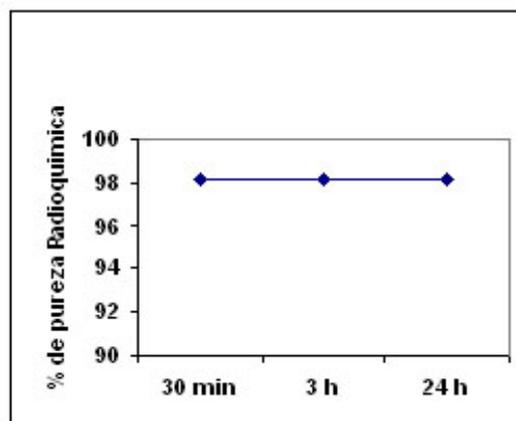


Figura 3. Estabilidad en el tiempo del AcM-R3h.

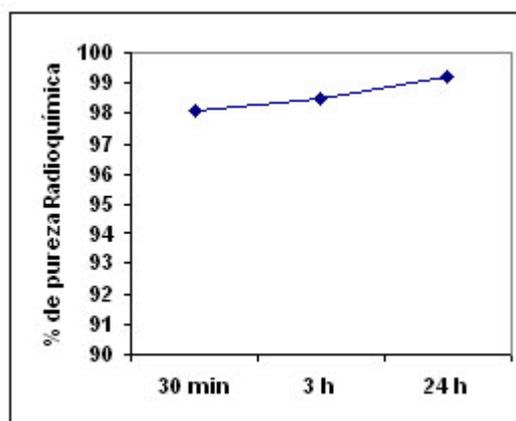


Figura 4. Estabilidad en el tiempo de la IgG-h.

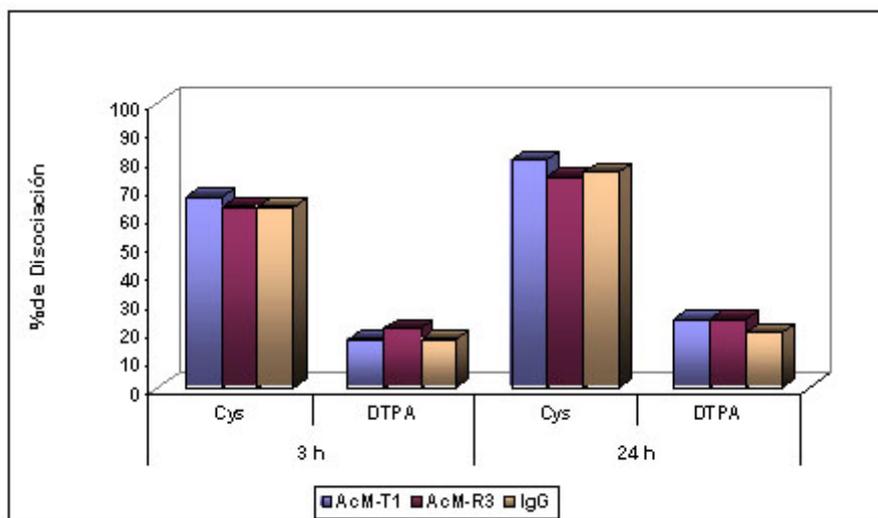


Figura.5 Estudio de la fortaleza del enlace ^{99m}Tc -Inmunoglobulina.

los que al transcurrir el tiempo generan una disociación gradual y creciente, que se evidenció plenamente al final del intervalo.

En el trabajo no se estudiaron las afectaciones estructurales generadas en la radiomarcación de los AcMs humanizados, las que revisten una importancia capital, ya que se desconoce cuál fue la generación de agregados moleculares y fragmentos, así como la actividad biológica de estas. Estos elementos serán objeto de estudio próximamente.

CONCLUSIONES

El trabajo demostró que el comportamiento químico de los anticuerpos monoclonales humanizados puede ser diferente y que no se deben extrapolar de otras proteínas las condiciones para su radiomarcación, por el contrario, se deben elaborar procedimientos particulares para cada AcM humanizado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] KOHLER, G., MILSTEIN, C., Continuous cultures of fused cells secreting antibody of predefined specificity, *Nature* 256(1975)495-7.
 [2] MORRISON, S.L., JOHNSON, M.J., HERZENBERG, L.A., OL, V.T.: Chimeric human antibody molecules: mouse antigen-binding domains with human constant region domains, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 81(1984)6851-6855.
 [3] REICHMANN, L., CLARK, M., WALDMANN, H., WINTER, G., Reshaping human antibodies for therapy, *Nature* 322(1988)21-25.
 [4] ZAYAS, F., PERERA, A., DE LA PEÑA, L., HERNÁNDEZ, T., Sodio Metabisulfito. Un nuevo agente reductor para el radiomarcaje de inmunoglobulinas con ^{99m}Tc , *Rev. Esp. Med. Nucl.* 15(1996)351-352.
 [5] PATEL, M., SADEK, S., JAHAN, S., OWUNWANME, A., A miniaturized rapid chromatographic procedure for quality control of technetium-99m sestamibi, *Eur. J. Nucl. Med.* 22(1995)1416-19.

[6] JOVANOVIĆ, V., MAKŠIN, T., RASTORAC, M., BZENIC, J., Comparative quality control of ^{99m}Tc -Pyrophosphate and ^{99m}Tc -Diphosphonate Radiopharmaceuticals, *Eur. J. Nucl. Med.* 8(1983)179-182.
 [7] PAIK, C.H., ECKELMAN, W.C., REBA, R., y otros, Transchelation of ^{99m}Tc from low affinity sites to high affinity sites of antibody, *Nucl. Med. Biol.* 13(1986)359-362.
 [8] PERERA, A., PÉREZ, C., Radiomarcaje de anticuerpos con Tecnecio-99m, Revisión. *Rev. Esp. Med. Nucl.* 17(1998)302-9.
 [9] RHODES, B.A., ZAMORA, P.O., NEWELL, K.D., Technetium-99m-labeling of murine monoclonal antibody fragments, *J. Nucl. Med.* 27(1986)615-23.
 [10] SCHWARZ, A., STEINSTRASSER, A., A novel approach to Tc-99m-labeled monoclonal antibodies. Abstract, *J. Nucl. Med.* 28(1987)721.
 [11] THAKUR, M.L., DEFULVIO, J.D., RICHARD, M.D., PARK, C.H., Technetium-99m-labeled monoclonal antibodies: evaluation of reducing agents, *Nucl. Med. Biol.* 18(1991)227-33.
 [12] PAK, K.Y., NEDELMAN, M.A., STEWART, R., A rapid and efficient method for labeling IgG antibodies with ^{99m}Tc and comparison to Fab antibody fragments, *J. Nucl. Med.* 30(1989)493-497.
 [13] DREISBACH, R.H., Manual de Toxicología Clínica. Prevención, Diagnóstico y Tratamiento, Quinta Edición, Ed., Manual Moderno, S. A. De C. V., México. D. F. (1984)197-224.
 [14] MESA, N., Evaluación de radiofármacos de alto y bajo peso molecular como radiolocalizadores de procesos inflamatorios, Tesis en Opción al título de Maestro en Ciencias Radioquímicas Aplicadas, Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Nucleares, Universidad de La Habana, Julio 2002.
 [15] ZAYAS, F., SOSA, P., HOKADA, E., HERNÁNDEZ, L., Puede el origen de una inmunoglobulina modificar su radiomarcación con ^{99m}Tc , *Rev. Esp. Med. Nucl.* 14(1995)237-38.
 [16] RABINOVICH, V.A., KHAVIN, Z.Y., Khimichakij Spravochnik Rd. Khimia, Leningrado, 1978.
 [17] MORALES, A., A, ZAYAS, F., NUÑEZ, G., IZNAGA, N., PÉREZ, N. y otros, Technetium 99m Direct Radiolabeling of Monoclonal Antibody ior egf/R3, *Nucl. Med. Biol.* 25(1998)25-30.

PUESTA EN OPERACIÓN DEL SISTEMA GENERADOR DE ULTRA ALTAS FRECUENCIAS DEL MICROTRÓN MT-25

Luis Cimino Quiñones¹, Rolando Guibert Gala², Juan Fc.o Zúñiga Santana³, Donis Rivero Ramírez¹, Felix Mas Milián¹, Alberto Rolo Naranjo¹; Colectivo de autores *

¹ Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InsTEC), Carlos III y Luaces, Quinta de Los Molinos, Plaza, Ciudad de La Habana, Cuba

² Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN), Calle 30 No. 502 e/ 5^{ta} y 7^{ma} Ave., Miramar, Playa, Ciudad de La Habana, Cuba

³ Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA), Calle 20 No. 4111-4113 e/ 18 A y 47, Miramar, Playa, Ciudad de La Habana, Cuba

⁴ Universidad de Córdoba, España

⁵ Universidad de Liubliana, Eslovenia

⁶ Instituto Joze Estefan, Liubliana, Eslovenia

Resumen

En este trabajo se describen las tareas realizadas para la puesta en operación del sistema generador de ultra altas frecuencias del Microtrón MT-25 a instalarse en Cuba. Para ello se puso en funcionamiento el motoconvertidor BPL-50, encargado de generar el voltaje de 220 V/400 Hz necesario para la alimentación de la mayoría de los bloques de este sistema, se aplicó el análisis vibracional al BPL-50 con el objetivo de caracterizar dicha máquina en el momento de su puesta en marcha, se diseñó y construyó un sistema de enfriamiento por agua, necesario para varios bloques del generador, se han alimentado desde el panel de mando del microtrón diferentes bloques y partes, se elaboró un sistema de adquisición de datos para efectuar registros de parámetros del acelerador y se elaboró un programa a través del cual se realizan las secuencias de arranque, control de la marcha y desconexión del microtrón.

START-UP OF THE MICROTRON MT-25 ULTRA-HIGH FREQUENCIES GENERATOR

Abstract

This work describe the tasks executed to place in operation the micro wave generator system of the Microtrón MT-25 to settle in Cuba. For it, the motoconverter BPL-50 was put on in operation. This machine generate the voltage of 220 V/ 477 Hz, necessary for the power on the majority of the blocks of the Microtron. We did the vibration analysis at BPL-50, with the objective of characterizing this machine in the moment of it pull up. A water cooler system, necessary for cooling several blocks of the generator, was designed and constructed. Several blocks and parts of the microtrón where power on from the Panel of Control. Finally, a data acquisition system was constructed, in order to achieve registrations of parameters of the accelerator. Also was elaborated a program, which take care of the different steps of the microtron working sequences and its working parameters.

Palabras clave: construction, electron beams, microtrons, planning, specifications

INTRODUCCIÓN

El Microtrón MT-25, es un acelerador de electrones que puede alcanzar una energía máxima de 25 MeV. Es un acelerador cíclico de electrones en paquetes, que permite obtener tres tipos de radiaciones: electrones, rayos gamma y neutrones. Estas dos últimas partículas se obtienen por radiación de frenado en blanco de Wolframio o Talio, obteniéndose un espectro continuo de energía máxima igual a la energía de los electrones acelerados, o por fisión en convertidores de U y Be [1].

Sus parámetros de operación son los siguientes:

- Energía máxima de los electrones $25 \pm 0,07$ MeV
- Corriente media 20 mA
- Tiempo del paquete de electrones 2,5 mA
- Frecuencia de los paquetes 400 Hz
- Diámetro del haz de electrones 5 mm
- Potencia del haz en el blanco 1 Kw
- Eficiencia de la salida del haz de electrones 90%
- Energía máxima de los cuantos gamma 25 MeV
- Flujo gamma en el paquete $10^{14} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$
- Energía promedio de los neutrones 2,2 MeV

* Colectivo de autores: Margarita Piedra Díaz¹, María Dolores Andrade Grigori¹, Jesús Salomón Llanes¹, Oscar Díaz Rizo¹, Fernando Guzmán Martínez¹, Lázaro García Parra¹, Grisel Pérez Zayas², María Elena Montesino Otero¹, María Josefa Simón Delgado¹, Katia D'Alexandro¹, José Ignacio Benavides Benitez³, Francisco Javier Quiles Latorre³, Josef Pahor⁴, Duzhan Pornikov⁴, Gorak Lago⁵.

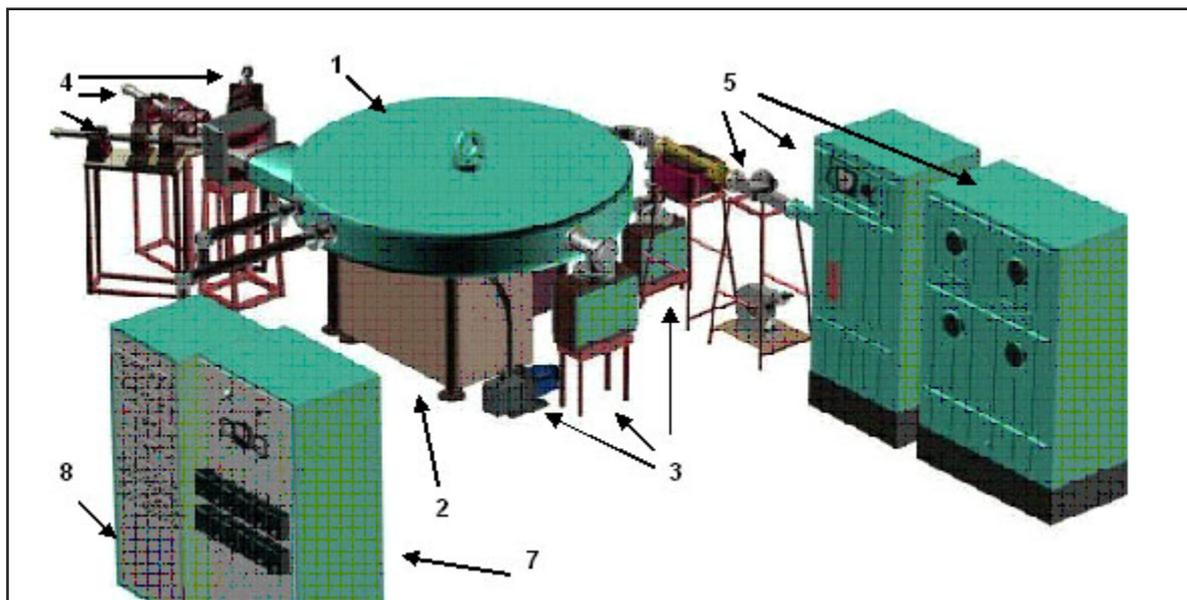


Figura 1. Esquema general del Microtrón MT-25.

- Densidad de flujo de los neutrones rápidos $10^{12}n\text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- Densidad de flujo de neutrones térmicos $10^9n\text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- Densidad de flujo de neutrones epitérmicos $10^9n\text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- Potencia del Acelerador 20 Kw
- Enfriamiento Agua y Aire

Este acelerador, está compuesto por:

1. Cámara de aceleración.
2. Electroimán principal.
3. Sistema de vacío.
4. Canales de transportación del haz de electrones acelerados, los cuales contienen los imanes de giro, las lentes cuadrupolares e imanes de corrección.
5. Generador de super alta frecuencia, que consta del modulador sincronizado, el generador a magnetrón y la guía de onda con el resonador.
6. Panel de dirección del acelerador, que permite el control del proceso así como la lectura del valor de cada variable del sistema por medio de instrumentos analógicos.
7. Gabinete de dirección, bloqueo y señalización que contiene un conjunto de desconectivos magnéticos, relés y otros dispositivos eléctricos que actúan suministrando energía en algún caso a 220 V y 3 fases, 60 Hz, y en la mayoría de los casos a 220 V, 3 fases y 400 Hz.
8. El gabinete de las fuentes estabilizadas de alimentación de las partes y sistemas del acelerador que está compuesto por 16 fuentes de alimentación de corriente directa.

Como base del sistema de ultra alta frecuencia del microtrón se utiliza un generador de tipo magnetrón. El generador y el modulador se distribuyen en la sala del acelerador. La transmisión de la potencia de ultra alta frecuencia al resonador se realiza por medio de una guía de onda [2].

INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL MOTOCONVERTIDOR BPL-50

El acelerador cíclico de electrones Microtrón MT-25 presenta cierto requerimiento energético para su operación; energía eléctrica a 220 V, 3 fases y 60 Hz, así como energía eléctrica a 220 V, 3 fases a 477 Hz y voltajes varios de corriente directa para alimentar relés, lentes cuadrupolares e imanes de giro de deflexión.

La fuente de 220 V, 3 fases a 477 Hz consiste de un agregado electromecánico compuesto por un motor de 3 fases de 60 KVA de entrada con un factor de potencia superior a 0,9 denominado Motoconvertidor BPL-50 que opera a una frecuencia de diseño de 50 Hertz en la entrada al motor y que tiene sobre el mismo eje un generador trifásico de 50 KVA, entregando un voltaje ajustable que varía entre 208 V hasta 230 V y frecuencia nominal de salida 477 Hz [2].

Esta máquina se instaló en un local de 25 m², situado al lado del banco de transformadores a 50 metros del laboratorio donde se ensambló e interconectó el sistema generador de ultra altas frecuencia del microtrón. Este motoconvertidor rotatorio BPL-50 es capaz de entregar hasta 50 KW de energía eléctrica y como la frecuencia de entrada de la red energética nacional es de 60 Hz, la frecuencia del voltaje de salida del motoconvertidor es de 477 Hz. Consume actualmente unos 10 KW y su arranque se efectúa desde el panel de mando situado en el mismo local que el sistema de ultra altas frecuencias. Su peso es de 970 Kg y toma en la arrancada pulsos de corriente de alrededor de 600 A.

El generador del BPL-50 puede conectarse con montaje en estrella o en delta, ya que presenta seis polos enrollados en su estator. Fue necesario diseñar y construir una caja de barras de distribución para poder establecer el tipo de conexión a emplear. Por otra parte, el motor de entrada está conectado en delta. Es conocido de la Teoría de Maquinaria Eléctrica que de fallar una fase en una máquina conectada en delta esta tomaría excesiva corriente de línea en los dos campos remanentes sin producir giro, lo cual provoca que se destruya la máquina debido al calentamiento eléctrico.

Para prevenir este accidente y debido a la frecuencia ocasional de fallo de fase en el área donde se ha instalado se diseñó un sistema contra fallo de fase basado en un conjunto de relés de 24 V D.C. así como de desconectivos trifásicos que protegen a dicho convertidor rotatorio.

El voltaje generado por el Motoconvertidor BPL-50 se transmite al laboratorio a través de una línea soterrada, donde se distribuye hacia los gabinetes de control y dirección, modulador y generador por magnetrón y los elementos de la guía de onda que trabajan en base a 477 Hz.

La instalación eléctrica del motoconvertidor se diseñó y montó para poder alimentar al laboratorio definitivo del microtrón cuando finalmente el local esté construido.

APLICACIÓN DEL ANÁLISIS VIBRACIONAL AL BPL-50

La evaluación de la calidad del proceso de mantenimiento o evaluación de un proceso asociado a las operaciones de mantenimiento general, ha constituido uno de los problemas fundamentales para establecer parámetros. El establecimiento de estos parámetros cuantificables es posible, si con anterioridad se poseen datos sobre el comportamiento de variables, sean o no de vibración.

En el presente trabajo el proceso de almacenamiento de datos, procesamiento y análisis de las señales de vibración se realiza empleando: VibraMec™ (v 1.1) y FreDMec. Este último programa permite, de forma simple y rápida diseñar el objeto de medición y guardar la información con vista al seguimiento por mantenimiento, además de crear y almacenar la ficha técnica de datos, empleados para el cálculo de las frecuencias de diagnóstico y su vinculación con la información espectral.

En el marco de la filosofía del mantenimiento predictivo, la fecha de posible mantenimiento sin duda representa un aspecto de vital importancia para la toma de decisiones asociada a la realización de la parada, no obstante, es función

del personal de mantenimiento, realizar los trabajos preparatorios previos que potencien el análisis espectral, y realizar, entre otros aspectos, el cálculo de las frecuencias de diagnóstico. Este cálculo, si bien se realiza una sola vez para cada punto de medición del objeto o de los objetos que se analicen, de no contar con herramientas de apoyo, representaría una pérdida considerable de tiempo y la imposibilidad de reajuste de forma automatizada de dichas frecuencias de diagnóstico.

La medición de las vibraciones mecánicas se efectuó, mediante el empleo de una red de mediciones que incluye un sensor de vibraciones CTN 10 3/92, un acondicionador de señales B&K 2626 y una tarjeta de adquisición de datos acoplada a una computadora personal (PC). El diseño del objeto de medición, con sus características fundamentales se realiza empleando el software FreDMec. El procesamiento y análisis espectral se realiza mediante VibraMec™ (v 1.1). Este procesamiento se efectúa mediante la transformada rápida de Fourier [3-5].

En las mediciones puntuales, relacionadas con valoraciones de vibración en cada posición de medición, se asume un total de 10 registros con 1/024 puntos cada uno. Según las valoraciones presentadas, en la metodología para la interpretación espectral, la Frecuencia Máxima de Lectura (FML) se toma con un valor de 6000 Hz.

Esta FML permite realizar una valoración energética espectral aceptable.

Se realizaron un total de 28 mediciones en los diferentes puntos de medición del motoconvertidor del microtrón. El diseño del motoconvertidor, realizado empleando FreDMec (V1.1) se muestra en la figura 2. Como se aprecia, se presentan las características geométricas fundamentales del objeto de medición y la posición de los diferentes puntos de medición.

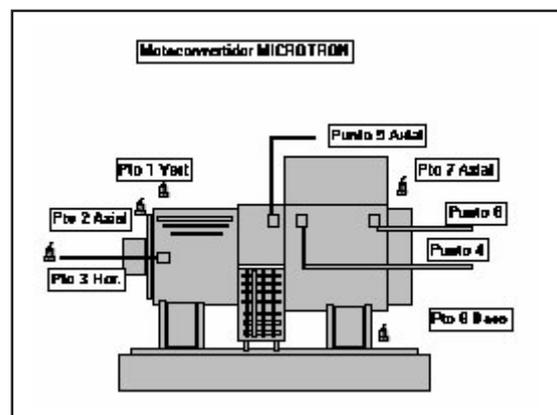


Figura 2. Esquema del Motoconvertidor diseñado empleando la herramienta FreDMec.

Para los diferentes puntos de medición se obtuvieron valores de RMS, característica global y los valores pico (tabla 1).

Una vez obtenidos los valores por los diferentes puntos de medición, se realizó el análisis de la estabilidad espectral, para el punto 4, el cual cuenta con mayor nivel de energía espectral, expresada en el valor global RMS y los diferentes espectros se obtienen cada 15 segundos. El comportamiento espectral para la estabilidad se muestra en la figura 3.

Las condiciones de lectura para el proceso de parada fueron: intervalo entre espectros de 15 seg. y número de puntos 1/024. Analizando el comportamiento de los valores globales de medición expresados en RMS, se evidencia que los puntos con menor información energética se relacionan con las mediciones en la dirección axial, puntos 2, 5 y 7.

Una variación de estos parámetros en el tiempo, además de la información espectral presuponen, no solo un problema mecánico del equipo, sino también problemas con el anclaje. De aquí la importancia que tiene almacenar estas

mediciones y considerarlas como mediciones cualitativas y cuantitativas iniciales para la cadena de medición empleada.

Como se muestra en la figura 3, en el transcurso de la lectura hay una evidente estabilidad, lo cual supone, de forma aproximada, la estabilidad de trabajo en un tiempo finito. Otro aspecto interesante de la estabilidad espectral es precisamente la invariabilidad de los valores frecuenciales en el tiempo.

En las mediciones realizadas en el proceso de parada, se evidencia una zona a los 45 seg. en el rango de frecuencia entre 500 y 750 Hz, donde se produce un aumento significativo de la energía espectral. Esta zona de frecuencia puede significar una dificultad para el trabajo normal bajo carga.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR AGUA

Los sistemas que componen el Microtrón pueden requerir enfriamiento por agua. El gasto de agua es de 50 litros/min para el enfriamiento del electroimán principal, la válvula de ferrita y la válvula

Tabla 1. Mediciones realizadas en los diferentes puntos de medición

Pto	Dirección de Medición	RMS (m /s ²)	Valor Pico
1	Vertical	0,98	2,99
2	Axial	0,86	2,99
3	Horizontal	0,90	2,49
4	Horizontal - Vertical	1,68	2,75
5	Axial	0,68	3,70
6	Horizontal – Vertical	1,0	1,58
7	Axial	0,39	2,30
8	Base	0,45	1,17

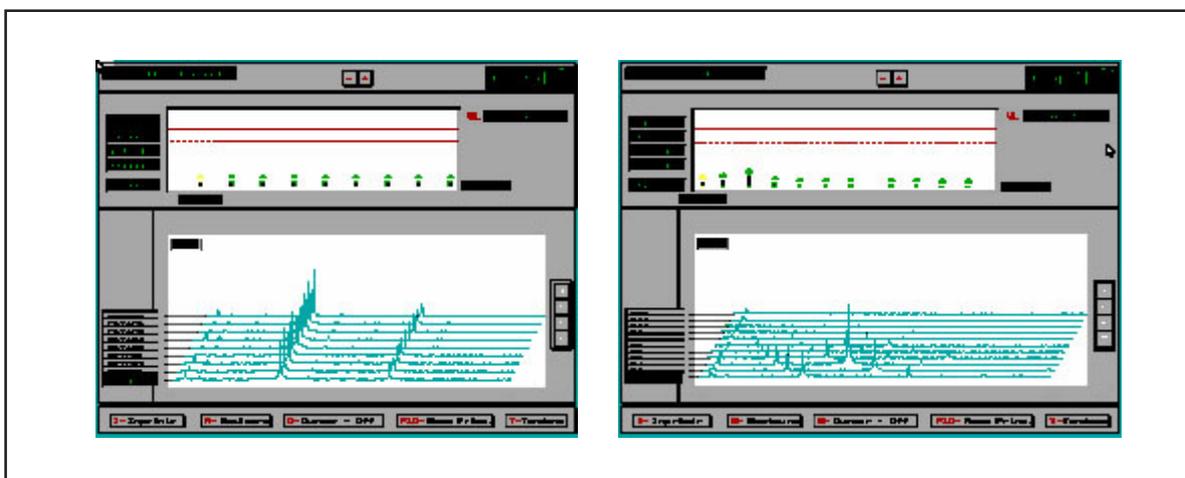


Figura 3. Comportamiento espectral para los análisis de estabilidad y del proceso de parada para el punto.

magnetron. Las bombas de medio vacío requieren 100 litros/hora y las bombas de alto vacío requieren de 100 litros/hora. La disipación de potencia calorífica es de 15 kW. El agua debe presentar una temperatura de entrada entre 23°C y 27°C y la presión debe establecerse entre 1,5 a 3,5 atmósferas. Para la instalación del sistema de alta frecuencia fue necesario el diseño y la construcción de un sistema de enfriamiento por agua.

Este sistema emplea una bomba de agua de gasto, con tubería de entrada y salida de 1,5 pulgadas galvanizadas, un tanque de agua y el intercambiador aire agua. Tiene 18 válvulas de globo de ¾ pulgadas y válvulas que permiten regular la presión. Actualmente, se lee la temperatura de entrada del agua con relojes termométricos acoplados al sistema (ver figura 4).

SISTEMA PARA LA SUPERVISIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL MICROTRÓN

El sistema para la supervisión del funcionamiento del microtrón está compuesto, por una Unidad de Procesamiento de Parámetros (UPP), una computadora personal (PC) y el programa supervisor. Estos en su conjunto son los encargados de mostrar el estado en que se encuentran los diversos parámetros de funcionamiento del MT-25, así como indicar si se encuentran dentro de los valores establecidos.

La función de la UPP es permitir la adquisición por medio de la PC de los valores y estados de las distintas señales que son manejadas para supervisar la operación del microtrón. La UPP está compuesta por una tarjeta a base de un microcontrolador mC [6,7] un bloque de acomodación de señales, un bloque de selección y una fuente de alimentación, como se muestra en la figura 5.

El principio de funcionamiento consiste en que las señales analógicas y digitales a monitorear son acopladas y acomodadas a través de circuitos electrónicos que llevan sus niveles de voltaje a los niveles requeridos por los circuitos de entrada de la tarjeta del microcontrolador. Luego se utiliza un bloque de selección de las señales basado en multiplexores digitales y analógicos los cuales elevan la posibilidad de lectura a 64 señales digitales y 40 analógicas.

El bloque de selección de las señales se controla directamente por la tarjeta del mC, dándole las combinaciones a los multiplexores a través de uno de sus puertos utilizado como salida. La tarjeta se controla por comandos enviados desde la PC, que permiten la lectura de cualquier señal digital o analógica presente en sus entradas. La comunicación de la UPP con la PC se realiza vía RS232.

El programa supervisor está dividido en cuatro subprogramas, cada uno de los cuales tienen una función determinada. El primer subprograma es el encargado de definir el régimen de trabajo del microtrón y obtener los valores de los parámetros de trabajo, que serán necesarios colocar en los elementos de este en cada experimento a realizar.

El segundo subprograma tiene la tarea de ir ordenando y chequeando los pasos para el correcto encendido del microtrón, así como visualizar el estado de todos sus elementos y mostrar inmediatamente si existe alguna anomalía en el sistema. El tercer subprograma se utiliza para la obtención del haz de electrones en el blanco. En él se van ajustando los valores de las magnitudes de los parámetros de trabajo para obtener el máximo de intensidad del haz de electrones. Y por último el cuarto subprograma tiene como función la correcta desconexión del microtrón.

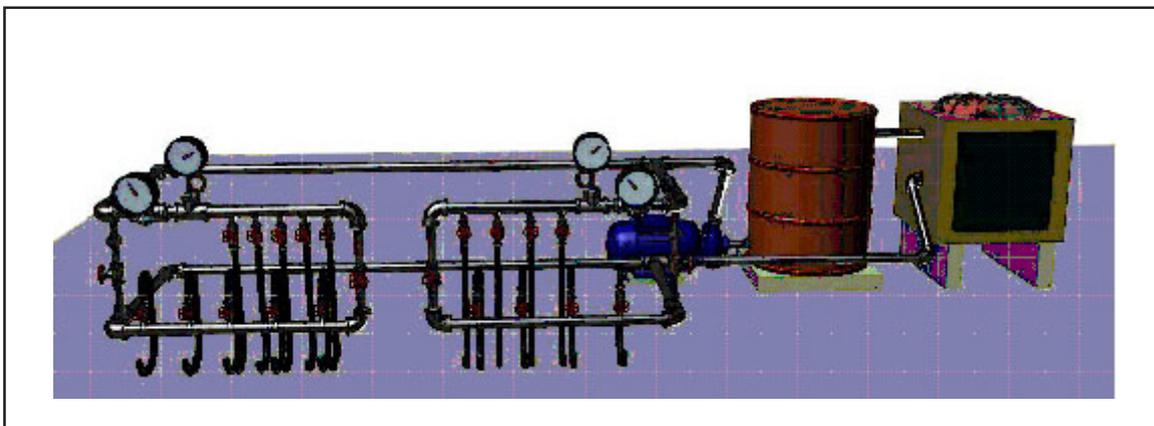


Figura 4. Sistema de enfriamiento por agua.

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

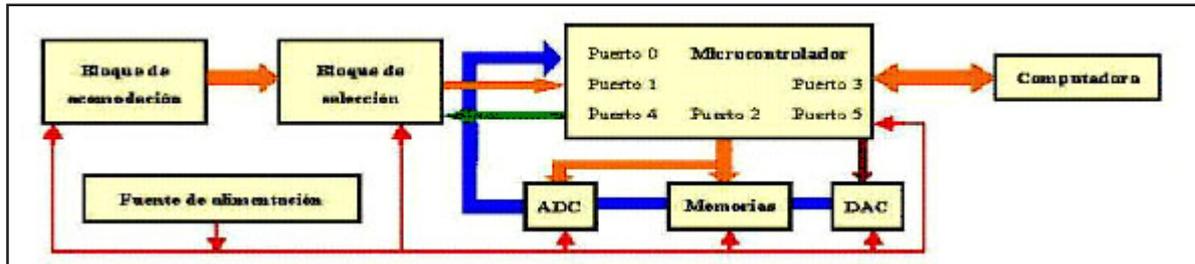


Figura 5. Esquema de la composición de la UPP.

El régimen de trabajo del Microtrón MT-25 lo define la energía (E) hasta la cual es necesario acelerar los electrones, así como el tiempo de irradiación. En la etapa inicial de preparación para el trabajo el operador determina el número de órbita (N) de la cual es necesario sacar el haz de electrones y la corriente del electroimán (Im), que determina el valor del campo magnético del acelerador. Como norma, el operador utiliza un monograma que muestra la dependencia de la energía (E) del número de órbitas (N) y la inducción del campo B (o la corriente en las bobinas del electroimán, Im).

Posteriormente, el operador encuentra en el libro de explotación los valores de todas las magnitudes que son necesarias colocar en los instrumentos de medición. Todas estas operaciones se pueden realizar usando el subprograma encargado de definir el régimen de trabajo y cuyo panel se muestra en la parte izquierda superior de la figura 6.

Después de cumplir una serie de operaciones sucesivas, reglamentadas, que corresponden con las instrucciones de protección del trabajo y técnicas de seguridad, el operador, con el objetivo de poner en marcha el acelerador, realiza una serie de operaciones que deben ser ejecutadas en determinado orden. El subprograma para la puesta en marcha, cuyo panel se muestra en la parte izquierda inferior de la figura 6, garantiza esto.

Por lo general el haz de electrones acelerados se obtiene después de 50 mA de corriente de ánodo del magnetrón, pero su intensidad es muy pequeña. Esto se observa al aparecer una ligera deflexión en el microamperímetro que mide la corriente media de los electrones acelerados y en la indicación de los instrumentos dosimétricos.



Figura 6. Paneles de los subprogramas para la supervisión del Microtrón.

En lo adelante, la tarea es aumentar la intensidad de los electrones acelerados (o corriente media de los electrones acelerados). Para ello es necesario corregir todas las magnitudes que se colocaron en los instrumentos de medición. Se debe lograr un aumento de la corriente de los electrones acelerados al variar cada magnitud de corriente por separado. Si no se logra, se debe aumentar la corriente del ánodo paulatinamente y repetir el proceso anterior y así sucesivamente hasta llegar al valor de corriente del ánodo del magnetrón que se obtuvo del libro de operación del microtrón.

Este valor se corresponde con un valor de corriente media de los electrones acelerados y se puede supervisar con el subprograma de control del trabajo del microtrón, cuyo panel se muestra en la parte derecha superior de la figura 6.

Terminado el experimento, el operador desconecta el microtrón en sentido contrario a su conexión. Todas las observaciones sobre insuficiencias en el trabajo y defectos en las partes del microtrón se deben anotar en el libro de explotación, así como el valor de todos los parámetros que se obtuvieron durante el trabajo.

CONCLUSIONES

Como resultado de este trabajo se ha puesto en funcionamiento el motoconvertidor BPL-50, fuente de energía eléctrica principal del Microtrón MT-25. Actualmente el motoconvertidor BPL-50 se pone en marcha desde el panel de mando del acelerador, de acuerdo con la secuencia de operaciones establecida por los constructores. Dada la diferencia de la frecuencia de entrada de la red de energía eléctrica de 60 Hz contra la frecuencia de diseño de 50 Hz, se aplica la técnica del análisis por vibraciones al motoconvertidor BPL-50 desde su inicio de operación.

Durante estos trabajos se realizó la caracterización por vibraciones mecánicas del BPL-50, se demostró la estabilidad rotacional del motoconvertidor en condiciones sin carga, se detectó una zona de trabajo con anomalías de frecuencias en el rango entre 500 y 750 Hz, en el cual los niveles de energía se incrementaron y se logró implementar una metodología práctica para la interpretación espectral del motoconvertidor BPL-50.

Además se diseñó y construyó un sistema de enfriamiento por agua, utilizando un intercambiador aire-agua. Se logró la

interconexión del panel de mando, con los gabinetes de control y dirección, gabinete de las fuentes de corriente directa, del modulador y del generador de ultra altas frecuencias por magnetrón. Se energizaron desde el panel de mando los lentes cuadrupolares de reflexión y enfoque, controlando la corriente de estas lentes e imanes a través de los potenciómetros de control del haz del acelerador.

Se elaboró una tarjeta de adquisición de datos para efectuar registros de parámetros del acelerador como la temperatura y presión del agua de entrada u otros que controlan el estado de operación del microtrón y se elaboró un programa monitor a través de métodos de simulación en los que se realizan las secuencias de arranque, control de la marcha y desconexión del microtrón el cual permite el primer proceso de automatización del panel del mando del Microtrón MT-25.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Organismo Internacional de Energía Atómica y a la Universidad de Córdoba en España, pues los trabajos relacionados con el sistema de adquisición de datos y el programa supervisor del funcionamiento del microtrón se han elaborado gracias al financiamiento y la colaboración de estas dos instituciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] KAPITSA, S.P., MELEKHIN, V.N. The Microtron, Harwood Academic Publisher, London, 1978.
- [2] VELOV, A.G., BONDARENKO, P.G., SHIMANA, CH. VOGNAP, M., Microtrón MT-22 JINR P9-82-301, Dubna, 1982.
- [3] Descripción Técnica e Instrucciones para la explotación del Motoconvertidor BPL 50 (en ruso).
- [4] VibraMec Registro No. 01851-1851, Registro de marca, Certificado No. 128425.
- [5] ROLO, N.A., YEDRA, E., Herramienta para el Mantenimiento Predictivo, III Taller de la Cátedra de Seguridad, 1999.
- [6] RIVERO, D., PAHOR, J., PONIKVAR, D. LAGO, G., Diseño de un Sistema de Adquisición de Datos usando un Microcontrolador, CIEN - R 04- 2000.
- [7] RIVERO, D., BENAVIDES, J.I., QUILES, F. J., Q., PAHOR, J., PONIKVAR, D., LAGO, G., Adquisición de Datos con una Computadora Personal para el Generador de Microondas del Microtrón MT-25, Revista Nucleus, No. 29, 2000.
- [8] RIVERO, D., PAHOR, J., LAGO, G., Panel de Mando Virtual para el Microtrón MT-25, Revista Cubana de Física, Vol. 18. No. 1, 2001.

CAPTADOR DE YODO ACOPLADO A PC DESTINADO AL SISTEMA NACIONAL DE SALUD

Eduardo Arista Romeu¹, Dolores Alonso Abad², Raúl Arteche Díaz¹

¹Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN)

Calle 30 No. 502 e/ 5ta y 7ma Ave. Miramar, Playa, Ciudad de La Habana, Cuba

²Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR)

Calle 20 No. 4113 e/ 41 y 47, Playa, Ciudad de La Habana, Cuba

Resumen

Se presenta un sistema de detección–medición DETEC-PC que se utiliza en los estudios de Captación de Yodo en Tiroides. Consta de tres elementos: el detector con su colimador, un módulo ciego de medición y el software de aplicación.

El módulo de medición se comunica a través de una interfase RS-232 serie con la computadora personal donde reside el software de aplicación DETEC.

El software se diseñó acorde con los principios de la programación orientada a objetos y programó en C++. El software además de la medición en los pacientes, realiza el procesamiento estadístico del lote de muestras a utilizar, fija automáticamente los parámetros espectrométricos para la medición, posee una base de datos PARADOX donde se almacena la información de los pacientes estudiados y una ayuda en línea con las opciones del sistema.

PC BASED THYROID UPTAKE SYSTEM FOR THE NATIONAL HEALTH SYSTEM

Abstract

A measurement–detection system (DETEC-PC) is presented to be used in Iodine Thyroid Uptake Studies. It consists of three elements: the detector with its collimator, a blind measurement module and the application software.

The measurement module communicates through a RS-232 serial interface to the Personal Computer where the application software DETEC resides.

The software was designed according to the principles of object oriented programming using C++ language. It automatically fixes spectrometric measurement parameters and besides patient measurement also performs statistical analysis of a batch of samples. It possesses a PARADOX database with all information of measured patients and an "on line" help with the system options.

Palabras clave: *diagnostic techniques, iodine 131, measuring methods, nuclear medicine, thyroid, validation, personal computers, programming*

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades producidas por trastornos en la glándula tiroides tienen una gran incidencia en la población. Cualquier hospital general atiende decenas de casos semanales y hay lugares en los que este padecimiento es endémico. La Captación de Yodo en tiroides se utiliza como método diagnóstico y terapéutico en la práctica médica (medicina nuclear) desde la década del 50.

Los estudios de captación de yodo se orientan en aquellos casos que se desee evaluar el estado funcional de la glándula tiroides como son: hipertiroidismo, bocio tóxico difuso, bocio nodular, cáncer del tiroides y otros, lo que permite la evaluación de resultados terapéuticos y la planificación del tratamiento con ¹³¹I.

El estudio de captación de yodo en tiroides consiste en la administración al paciente por vía oral de una solución de yodo radiactivo. La sustancia radiactiva es atraída químicamente hasta la glándula y produce una emisión que es captada mediante el uso de un detector de radiaciones ionizantes. Se realizan mediciones seriadas a intervalos predeterminados. El grado de concentración del yodo en tiroides, así como la variación de su concentración en el tiempo reflejan el funcionamiento de la glándula [1].

Semanalmente se prepara un lote de hasta 100 muestras de una solución de yodo radiactivo con una dosis entre 7 y 10 μCi [1]. Este lote se analiza estadísticamente: se calcula la media aritmética de los conteos, la desviación estándar, y el coeficiente de variación. Si el coeficiente es mayor o igual al

5% se desecha ese lote de muestras por mala preparación. En caso contrario se determina la muestra patrón, se calcula el intervalo de confianza y se seleccionan las muestras desechadas. Con la muestra patrón se determina el tiempo de medición para todas las muestras del lote.

Una vez que el paciente ingiere el radiofármaco comienza el proceso de las mediciones seriadas. Estas se efectúan a las 2, 4, 6, 24, 48, 72 y 96 horas. A las 2 y a las 24 horas se realiza una evaluación de la medición y se puede tomar una decisión como se muestra en la tabla 1.

El equipo presentado aquí tiene como antecedente el Sistema Monodetector para Diagnóstico DETECT, sistema radiométrico monolítico desarrollado en el Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN), el cual permitía medir los mismos isótopos que se pueden medir con el presente sistema, entre ellos el ^{131}I , y con el cual era factible la realización del estudio de captación de yodo en tiroides para lo cual se obtuvo el correspondiente Registro Médico.

Actualmente es una exigencia a los equipos electrónicos médicos la facilidad en el ajuste, uso e interpretación de los resultados, lo cual es imposible sin el uso de la cibernética médica referida al diagnóstico de enfermedades, y cada vez más el software asociado a estos equipos desempeña un papel determinante en su funcionamiento [2].

El software DETEC fue diseñado y desarrollado para integrar el presente sistema. En su desarrollo se tomó en cuenta la práctica médica en la realización del estudio de captación de yodo en tiroides para implementar y promover las buenas prácticas médicas. Este software está basado en los principios de la Programación Orientada a Objetos (POO) y se escribió en C++, con una interfase gráfica en ambiente windows

que permite el acceso a todos los recursos de la máquina, normalmente disponibles para el usuario.

MATERIALES Y MÉTODOS

El DETEC-PC es básicamente un dispositivo para la realización de radiometría por un canal de detección. Se compone de tres partes fundamentales: el detector con su colimador, el módulo ciego de medición y el software de aplicación (figura 1).

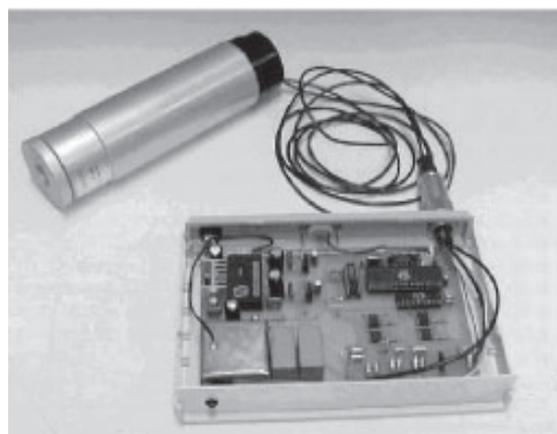


Figura 1. Foto del primer prototipo (módulo de medición).

El detector está formado por un cristal centelleante de NaI(Tl) de 40 x 40 mm con su tubo fotomultiplicador, un pre-amplificador y además el colimador y el dispositivo mecánico de posicionamiento. Este conjunto tiene un aporte considerable al costo del equipo, y por esa razón se plantea reutilizar los existentes en los hospitales siempre que sea posible.

El módulo de medición es ciego, y solo tiene un LED de indicación de encendido, tiene un microcontrolador de la familia del 51 con un BIOS

Tabla 1. Clasificación de los pacientes de acuerdo con el porcentaje de captación

Evaluación a las 2 horas		
% de Captación	Diagnóstico	Decisión
Entre 0 y 4	Hipotiroideos	Se sigue midiendo
Entre 5 y 16	Eurotiroideos	Fin del estudio
Mayor de 16	Hipertiroideos	Se sigue midiendo
Evaluación a las 24 horas		
Entre 0 y 9	Hipotiroideos	Fin del estudio
Entre 10 y 50	Eurotiroideos	Fin del estudio
Mayor de 50	Hipertiroideos	Se sigue midiendo para calcular la Vida Media Efectiva (VME)

propio desarrollado para esta aplicación. Está compuesto por una sección digital, una espectrométrica, una de alimentación y una de alto voltaje.

La sección espectrométrica está constituida por un amplificador bipolar con ganancia variable para la conformación de los pulsos provenientes del detector y dos discriminadores diferenciales. El amplificador bipolar usado es el módulo ATI-CEADEN que constructivamente es un módulo localizado en una tarjeta separada de montaje superficial con uniones soldadas a la tarjeta principal.

Las etapas de amplificación son complementadas por un amplificador de ganancia programables (AD603 controlado por voltaje) y un amplificador operacional LT1220 como buffer [3]. Cada discriminador diferencial permite ajustar independientemente en un rango de 0 a 10 V dos umbrales, formando una ventana entre el umbral inferior de discriminación y el umbral superior. Para su implementación se empleó además un dispositivo lógico programable (PAL16L8) que realiza la función de discriminación mediante una máquina de estado.

La sección digital del módulo de medición emplea un microcontrolador 89C52 de la firma ATMEL para implementar los contadores y el temporizador. Además controla todo el funcionamiento del equipo. El microcontrolador a través de un DAC múltiple de 8 x 8 bits de resolución (AD7228), suministra los voltajes de control necesarios para el ajuste y control de los diferentes bloques que conforman el equipo.

En la sección de alto voltaje se utilizó un diseño paramétrico con un convertor DC-DC (HVS1) que permite ajustar el alto voltaje entre 0 y 1000 V al que se le ha adicionado un circuito de regulación del voltaje de entrada y uno de filtrado al alto voltaje de salida para asegurar la característica de ondulación requerida en esta aplicación. El alto voltaje se varía a través de un convertor digital-analógico y es controlado por software.

En la sección de alimentación se emplean un transformador y circuitos típicos de rectificación y regulación para proveer al sistema de + 5 V y ± 12 V de DC a partir de la red de ~ 110 V A.C. 60 Hz.

RESULTADOS

El diseño logrado del DETEC-PC reúne las funciones necesarias para la realización de radiometría por un canal de detección. Permite la utilización de los

conjuntos de detección y posicionamiento mecánico existentes en los hospitales del sistema nacional de salud. El módulo de medición está basado en un microcontrolador de la familia del 51 con un BIOS propio desarrollado para esta aplicación.

Se asegura la comunicación del módulo de medición con la PC que se realiza a través del intercambio de comandos entre esta y el microcontrolador, mediante una interfaz serie RS232.

Los umbrales del discriminador diferencial se pueden fijar bajo control del software en un rango de 0 a 10 V con una resolución de 8 bits.

El alto voltaje se puede fijar bajo control del software en un rango de 400 a 1000 V con un paso de 4 V, con un 1 mA de salida y una ondulación de 100 mV.

La ganancia de la sección espectrométrica es ajustable y opcionalmente se puede fijar bajo control del software. El módulo se alimenta a partir de la red de ~ 110 V A.C. 60 Hz.

El software de aplicación DETEC tiene las siguientes facilidades:

- Mide el lote de muestras y realiza todo el procesamiento estadístico.
- Determina el tiempo de medición a emplear en el estudio.
- Se puede graficar el espectro de conteos o el espectro de porcentaje de captación.
- Se definió una base de datos PARADOX donde se almacenan los datos del paciente y los datos de la medición.
- El manejo de la información en la base de datos es automático, a partir del número de la Historia Clínica.
- A las 2 y 24 horas se realiza una evaluación de la medición y sugiere un diagnóstico y la toma de decisión de acuerdo con el valor del porcentaje de captación calculado. En caso de necesidad se calcula la Vida Media Efectiva.
- Con la opción de calibración se puede obtener el espectro energético del radiofármaco al variar el umbral inferior con una ventana fija.
- El sistema cuenta con una ayuda en línea.

La ventana principal del sistema está dividida en tres paneles: el panel de los datos de la medición, el panel del espectro y el panel de los datos del paciente.

Se definieron seis modos de trabajo: Parada por Tiempo, Parada por Conteo, Selección de Isótopo, Calibración, Análisis Estadístico, Vida media efectiva.

En la barra de menú de la ventana principal del sistema, se definieron las siguientes opciones: Archivos, Modos de Medición, Análisis Estadístico, Calibración y Ayuda.

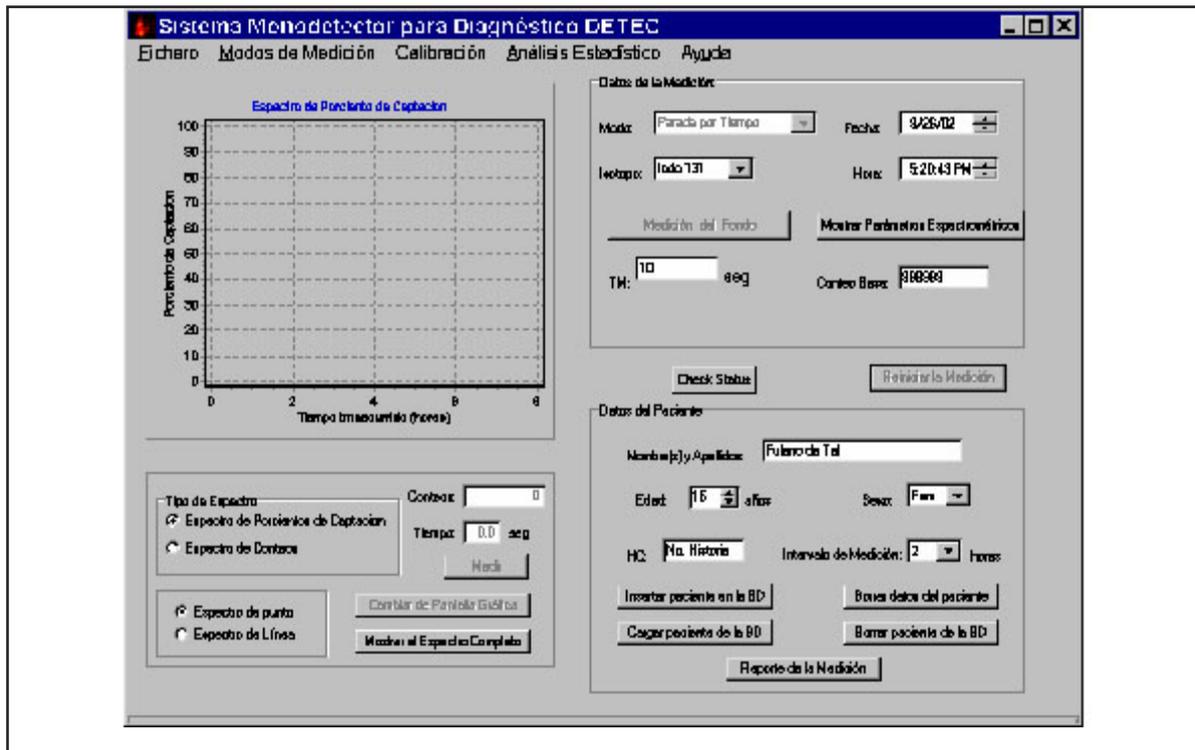


Figura 2. Pantalla principal del programa de aplicación.

DISCUSIÓN

El sistema se diseñó desde un inicio en base a los sistemas de detección existentes en los hospitales del Sistema Nacional de Salud, para ello se trabajó en las características de la sección espectrométrica y de la fuente de alto voltaje, para asegurar la posibilidad de utilizar esos detectores de centelleo.

La ganancia ajustable del amplificador para la conformación de pulsos posibilita que a pesar de que esta aplicación se desarrolló para la captación de yodo en tiroides es factible para la medición de otros radisótopos de amplio uso en medicina nuclear. El uso de una conformación bipolar elimina la necesidad de un circuito de restauración de la línea base y permite mayores intensidades de conteo sin apilonamiento.

Los umbrales inferior y superior del discriminador diferencial son ajustables independientemente, sin embargo el software accede a esta funcionalidad mediante un umbral inferior y ancho de ventana variables, para mayor facilidad durante los procedimientos de calibración.

La fuente de alto voltaje ajustable por software, permite seleccionar el alto voltaje óptimo para la polarización del detector, en dependencia del radisótomo empleado. La capacidad de carga de diseño de 1 mA es suficiente para los detectores escogidos. La selección de un circuito paramétrico se justifica por la poca variabilidad de la carga, y la baja resolución del sistema.

La sección digital del módulo de medición emplea un microcontrolador 89C52 de la firma ATMEL para implementar los contadores y el temporizador. Además, el microcontrolador realiza el control efectivo de todo el funcionamiento del equipo. Este microcontrolador tiene incorporados EPROM y RAM, que posibilita disminuir la cantidad de componentes y la complejidad del circuito impreso.

La comunicación del módulo con la PC se realiza a través del intercambio de comandos entre este y el microcontrolador 89C52 mediante una interfaz serie RS232. El microcontrolador a través de un DAC múltiple de 8 x 8 bits de resolución (AD7228), suministra los voltajes de control necesarios para el ajuste y control de los diferentes bloques analógicos que conforman el equipo. Además de ello, el microcontrolador es el encargado de comenzar la medición previa orden de la PC y concluirla cuando termine el tiempo de medición programado (Modo Parada por Tiempo).

Una vez terminada la medición, se detienen los contadores, se almacenan los datos obtenidos y se envía un evento hacia la PC para notificar que la medición fue concluida. El microcontrolador posee tres temporizadores contadores programables. Se emplea el contador uno, para contar los pulsos provenientes del discriminador. El microcontrolador forma una base de tiempo en uno de los temporizadores que luego es usada por el BIOS para el control del tiempo.

Análisis del Sistema

De los casos de uso se deriva que el sistema se puede dividir en los subsistemas de Medición, Análisis Estadístico y Calibración.

Subsistema de Medición

- Se diseñaron dos modos de medición: Parada por tiempo y Parada por conteos.
- Se definió como Intervalo de Medición al tiempo, en horas, transcurrido después de la ingestión del radiofármaco, en que está establecido realizar la medición.
- Las mediciones se realizan para valores crecientes de los intervalos de medición.
- Se definió una base de datos PARADOX donde se almacenan los datos del paciente y los datos de la medición. Cada registro de la tabla contiene la siguiente información: Nombre, Edad, Sexo, Historia Clínica (HC), Fecha de inicio del estudio, Hora, el Tipo de espectro y los valores medidos para cada intervalo.
- Un paciente se puede introducir en la base de datos por dos vías: cuando se va a medir por primera vez o a través del botón Insertar paciente en la BD.
- La información de un paciente existente se carga en el sistema automáticamente al introducir el número de Historia Clínica, si no aparece en la BD entonces se introduce en ese momento.
- Para que se elimine un paciente de la base de datos es necesario especificar la contraseña que permite borrar información.
- Almacenamiento en un fichero de las mediciones correspondientes al paciente activo, así como cargarlo si este fichero fue previamente salvado.
- Visualización por la pantalla de dos tipos de espectros: Espectro de conteos y Espectro de por cientos de captación.
- Teniendo en cuenta las características que tienen los intervalos de medición, se determinó que el espectro se mostrara en dos partes: en la primera el eje correspondiente al tiempo en horas tiene un rango de 0 a 8 y en la segunda un rango de 24 a 96. Por medio de un botón se intercambian estas dos zonas de espectro.
- La opción de visualizar el espectro completo con las mediciones de todos los intervalos se implementó a través de un botón de comandos del panel de medición.
- Evaluación primaria del resultado de la medición a las 2 y a las 24 horas.

Subsistema de Análisis Estadístico

En este subsistema se calculan todos los parámetros estadísticos mencionados. El usuario puede cancelar la medición del lote de muestras en cualquier momento y el resultado del procesamiento estadístico se visualiza en una ventana en la pantalla y se puede guardar en un fichero en el disco.

Subsistema de Calibración

La opción de Calibración permite obtener el espectro energético del radiofármaco al ir variando el umbral inferior. Esto posibilita fijar los

parámetros espectrométricos deseados para la medición y corregir los corrimientos que se hayan producidos en estos valores.

CONCLUSIONES

El sistema presentado es una alternativa económica para la recuperación y modernización de los sistemas con similar propósito existentes en los hospitales del Sistema Nacional de Salud al permitir utilizar los detectores y su mecánica de posicionamiento que se encuentren en buen estado mediante una adaptación mínima. En el diseño del DETEC-PC se tuvieron en cuenta los requerimientos de facilidad de uso y de las buenas prácticas médicas.

El diseño del software de aplicación siguiendo los principios de la POO con la característica inherente de la reusabilidad del código [4], permite crear nuevos software de aplicación para otros estudios con un esfuerzo mínimo, para ello sólo habría que añadir las nuevas clases específicas de las nuevas aplicaciones y estas nuevas clases heredarían de las ya existentes. Tanto en el diseño electrónico como en el diseño del software se tuvo en cuenta la extensibilidad de la solución presentada a otras aplicaciones que resultan de la medición de otros radionúclidos usados en medicina nuclear: ^{125}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{59}Fe , ^{51}Cr , ^{57}Ga , ^{57}Co y no solo de ^{131}I .

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Tiroides. Colegio Internacional de Médicos Nucleares A.C., 1999.
- [2] Física Médica y Biológica. MIR. Moscu, 1991.
- [3] Operational Amplifiers and Comparators, Data Book. Volumen A y B, 1995.
- [4] Object-Oriented Modeling and Design, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1995, Applying OMT, SIGS Books, 1991.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- [1] Software Orientado a Objeto, Addison-Wesley, 1993.
- [2] Textbook of Nuclear Medicine, Vol. II, Lea & Febiger, Philadelphia, 1984.
- [3] Strategies for Real-Time System Specification, Dorset House, New York, 1988.
- [4] Programando en C++, Editora Campus, 1993.
- [5] Object-Oriented Software Engineering: A Use Case Driven Approach, Addison-Wesley, 1992.
- [6] Hyperthyroidism, <http://cpmcnet.columbia.edu/dept/thyroid/index3.html>, 2001.
- [7] Ingeniería del Software: un enfoque práctico, Mc Graw Hill, Madrid, 1993.
- [8] Data Transmission Circuits, Data Books, 1993.
- [9] Software Orientado a Objeto. Addison-Wesley, 1993.
- [10] Principios básicos de investigación clínica, Editorial Zeneca FARMA, Ediciones Ergon S.A. Madrid, 1993.
- [11] Windows Wisdom for C and C++ Programmers, John Wiley and S., New York, 1993.
- [12] Introducción a la Programación Orientada a Objetos, Addison-Wesley Iberoamericana, 1944.
- [13] C++ Tutorial for MS-DOS and Windows Operating Systems, Microsoft C++ Version 7.0, 1992.
- [14] Quality Control of Nuclear Medicine Instruments, TECDOC 602, IAEA, Viena, 1988.
- [15] Object-Oriented Analysis, Yourdon Press Computing, Series, Prentice Hall Building, 1991.

DESARROLLO DE UN ANALIZADOR MULTICANAL UTILIZANDO UNA TARJETA CON PROCESADOR DE SEÑALES DIGITALES

Maikel Díaz Castro, Doris Rivero Ramírez, Neivy López Pino
Instituto Superior de Tecnología y Ciencias Aplicadas (InsTEC)
Carlos III y Luaces, Quinta de Los Molinos, Plaza, Ciudad de La Habana, Cuba

Resumen

A partir de la tarjeta de adquisición de datos D32Kitty, basada en un procesamiento de señales digitales, se diseña un analizador multicanal, que incluye una tarjeta diseñada para el control del conversor análogo digital 7411 de SILENA, y del tiempo de residencia para el modo de multiconteo. Todo el sistema es controlado por el software MultiCanal MD 1.0, programado en Borland Delphi, lo que permite la adquisición y el almacenamiento de los datos y la visualización de los espectros.

DEVELOPMENT OF A MULTICHANNEL ANALYZER USING A DATA ACQUISITION CARD WITH DIGITAL SIGNAL PROCESSOR

Abstract

A multichannel analyzer was designed using a data acquisition card based on a digital signal Processor, D32Kitty. Also was designed a complementary card to control a SILENA ADC Model 7411, and to generate time intervals to carry out the multiscaling mode. Using the Delphi Language was made a program, in order to control the data acquisition system and to show the resulting spectrums.

Palabras clave: measuring instruments, data acquisition systems, electronic equipment, automation, design, microprocessors

INTRODUCCIÓN

El Analizador Multicanal (MCA: Multichannel Analyser) es el instrumento espectrométrico por excelencia. Encargado de procesar el pulso proveniente del detector y de conformar el espectro de altura de pulsos, además brinda una valiosa información sobre la naturaleza de la radiación incidente. El Analizador Multicanal es un instrumento indispensable en los laboratorios de Física Nuclear [1].

El desarrollo de los analizadores multicanales se ha visto favorecido por el rápido avance de las técnicas computacionales. La introducción de las computadoras como instrumento esencial para la adquisición y procesamiento de grandes volúmenes de datos, ha dejado atrás la preferencia por los MCAs como equipo autónomo (caros y de un número limitado de funciones) y ha dado paso a la creación de MCAs como tarjetas acopladas a las computadoras o módulos controlados por microprocesadores acoplados a computadores por alguno de sus puertos [2-10].

Teniendo en cuenta el alto precio de los MCAs comerciales, se propuso como objetivo principal de este trabajo el diseño de un analizador

multicanal, utilizando para ello la tarjeta de adquisición de datos y procesamiento de señales digitales D32Kitty, desarrollada por el Centro de Investigaciones de Jülich, Alemania [11]. Además se decidió diseñar otra tarjeta que permitiera crear una interfaz entre la D32Kitty y el ADC mod. 7411 norma NIM de la firma comercial SILENA [12]. A la tarjeta diseñada para dicha interfase (InterfazMca), se le incluyó además un dispositivo para el control del tiempo real que permite realizar adquisiciones en modo de multiconteo.

DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

El hardware necesario para conformar el analizador multicanal está constituido por dos tarjetas de adquisición de datos: la D32Kitty de propósito general desarrollada y donada al InsTEC por el Centro de Investigaciones de Jülich, Alemania [11] y la InterfazMca desarrollada específicamente para esta aplicación. Además de forma opcional es posible conectar al sistema el ADC mod 7411 de la firma SILENA [12] como muestra la figura 1.

El núcleo de la tarjeta de adquisición de datos D32Kitty, es un Procesador de Señales Digitales

(DSP32C de Lucent, AT&T) con un poder de cálculo de 20 MIPS y 40 MFLOPS [5]. Este procesador de señales digitales (DSP) es programado y controlado desde la computadora personal y cuenta con una memoria local y de acceso rápido de 128 KB para el almacenamiento del código de los programas y los datos, y provee además una interfaz con DMA que permite una escritura-lectura directa y rápida de toda su memoria.

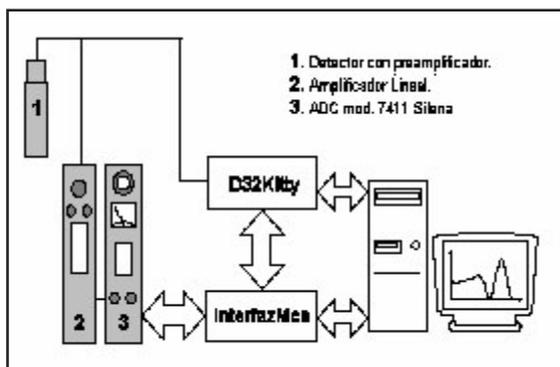


Figura 1. Esquema general del sistema espectrométrico con el Analizador Multicanal.

La D32Kitty cuenta además con una cadena de conformación para los pulsos nucleares formada por dos niveles de diferenciación y dos niveles de integración con un tiempo de conformación de 5 ms y un discriminador para la generación de una interrupción cada vez que llegue uno de estos pulsos. El pulso a la salida de la cadena de conformación tiene forma bipolar y llega al conversor análogo digital (ADC) que trabaja con una frecuencia de reloj de 10 MHz, es decir, cada 100 ns el ADC tiene un nuevo valor que puede ser leído directamente por el DSP sin tener que chequear ni activar ningún bit de conversión.

Toda la programación de la tarjeta y la transferencia de los programas a la memoria de esta se realizan a través de la Librería de Funciones Dinámicas (DLL) D32Kitty.dll [11], desarrollada por los autores de la tarjeta.

La tarjeta InterfazMca, diseñada con el propósito de controlar el ADC SILENA, cuenta con los módulos de Multiplexión y control del ADC, Oscilador y contador programable 82C54 y Control de señales.

El módulo de Multiplexión y control del ADC posibilita la lectura de los 12 bits del valor de la conversión del ADC SILENA a través de las ocho entradas digitales de la tarjeta D32Kitty mediante un proceso de multiplexión. Además permite controlar el ADC SILENA a través de las salidas digitales de la D32Kitty.

El módulo del oscilador y contador programable 82C54 permite controlar y programar a este desde

la computadora personal a través del bus ISA, para la medición del tiempo muerto del ADC SILENA y también genera una interrupción para el DSP con el objetivo de controlar el tiempo de residencia en el modo de multiconto.

El módulo control de señales controla la señal que llega al Gate del contador 82C54 y al pin de interrupción del DSP, en dependencia de si se está trabajando o no con el ADC SILENA. Un multiplexor permite seleccionar entre la señal Data Ready (proveniente del ADC SILENA) o Clk (desde el 82C54) y hacerla llegar al pin de interrupción del DSP y seleccionar cuál señal entre TOT_OUT (desde el ADC SILENA) o Cont_Mt (desde la tarjeta DS32Kiitty) que controlará el Gate del 82C54.

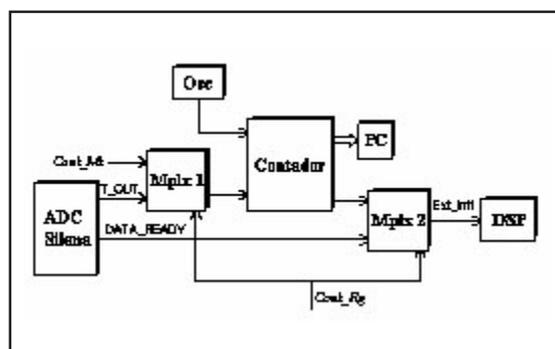


Figura 2. Esquema en bloques de la tarjeta InterfazMca y su interconexión con los demás dispositivos.

PROGRAMACIÓN DEL DSP

Los programas que utiliza el DSP, se encargan de todos los procesos relacionados con la adquisición y procesamiento de las señales, así como de su almacenamiento en memoria local, y dejan a la computadora personal solo la tarea de leer desde esta memoria para la visualización y almacenamiento de los datos. De esta forma se logra una adquisición totalmente independiente de la computadora lo que permite el uso de esta en otras aplicaciones.

Para el multicanal fue necesario desarrollar tres programas para el DSP: el primero para la adquisición en modo de altura de pulso, usando el ADC interno de la D32Kitty, el segundo en ese mismo modo de adquisición, pero utilizando, el ADC SILENA y el tercero para el control de la adquisición en modo de multiconto.

El método usado para la determinación de la altura del pulso en el caso de que se use el ADC interno de la D32Kitty, consiste en la lectura consecutiva de un número determinado de conversiones, lo que garantiza que el máximo del pulso caiga dentro de estas. Después se calcula el máximo entre estos valores y se toma como el

valor de la altura del pulso. Es importante señalar que el número de conversiones a realizar se debe optimizar debido a que un número grande e innecesario de estas, conlleva al aumento del tiempo de procesamiento del pulso y por tanto al aumento del tiempo muerto del sistema.

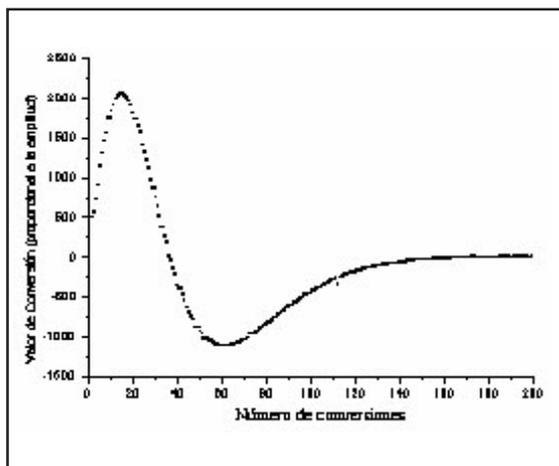


Figura 3. Ejemplo de una serie de lecturas consecutivas para determinar el número óptimo de conversiones.

DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA MULTICANAL MD

El Multicanal MD 1.0 es un programa desarrollado en Borland Delphi 3.0 con el objetivo de controlar todo el sistema, garantizando una interfaz sencilla al usuario durante la adquisición de los espectros. En la programación se tuvo en cuenta que las funciones de mayor prioridad a realizar son las de lectura de los datos desde la memoria del DSP y la visualización del espectro.

El programa permite configurar el sistema para realizar la adquisición en los modos de altura de pulso y multiconteo, situar el nivel de discriminación (LLD) y tiempo de residencia, iniciar, detener y definir la forma de detención de la adquisición, hacer análisis simples de espectros, calibrar en energía y almacenar los espectros obtenidos.

RESULTADOS

Para la comprobación del correcto funcionamiento del sistema se realizaron varias pruebas de control. El sistema se comparó con un multicanal MCA APTEC [14]. Para la prueba en el modo de altura de pulsos se colectaron los espectros de diferentes fuentes de energías conocidas y se realizó una comparación en cuanto a linealidad de ambos sistemas para la recta de calibración. Para la prueba en el modo de multiconteo se realizó la medición del tiempo de semidesintegración ($T_{1/2}$) del ^{116m}In .

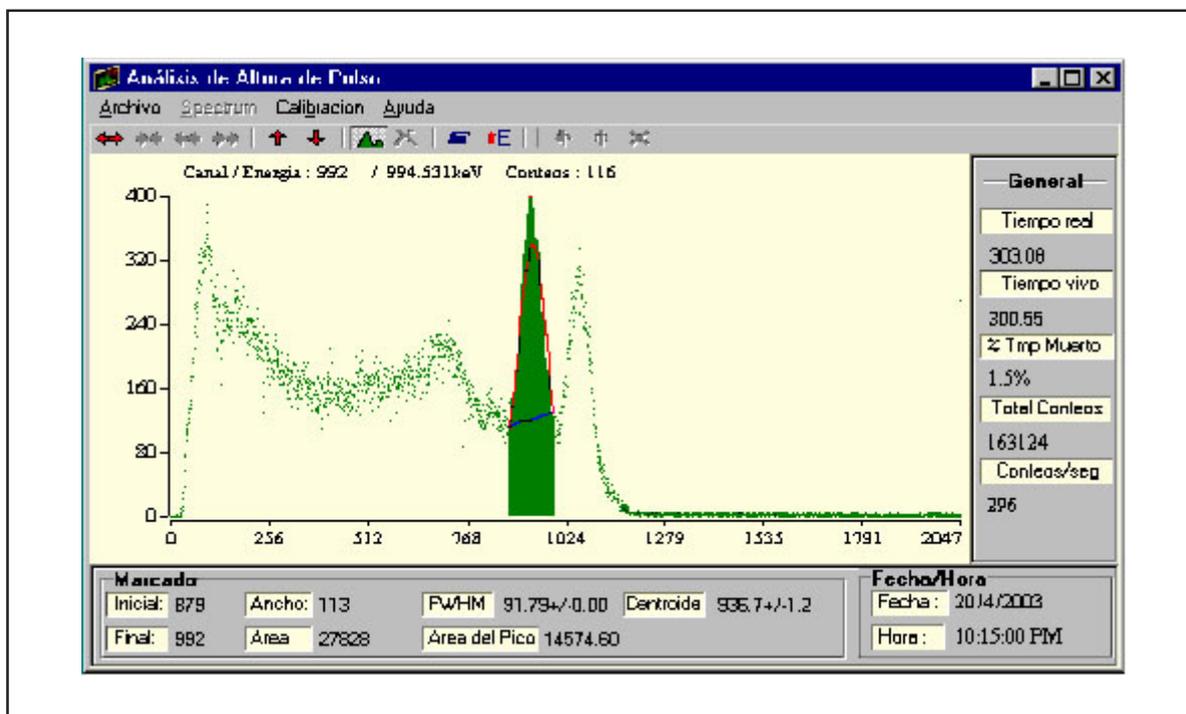


Figura 4. Ventana de adquisición en modo de altura de pulso del programa, mostrando el espectro de una fuente de ^{60}Co medido con un detector de Centelleo.

Tabla 1. Valores obtenidos en la calibración y parámetros de la recta, calculados por el método de mínimos cuadrados para ambos sistemas

		MCA_Aptec	MCA_MD
Elemento	Energía(keV)	Canal	Canal
Co-60	1173,208	448	933
Co-60	1332,464	509	1054
Cs-137	661,642	263	538
Aniquilación	511	207	414
Na22	1275	489	1016

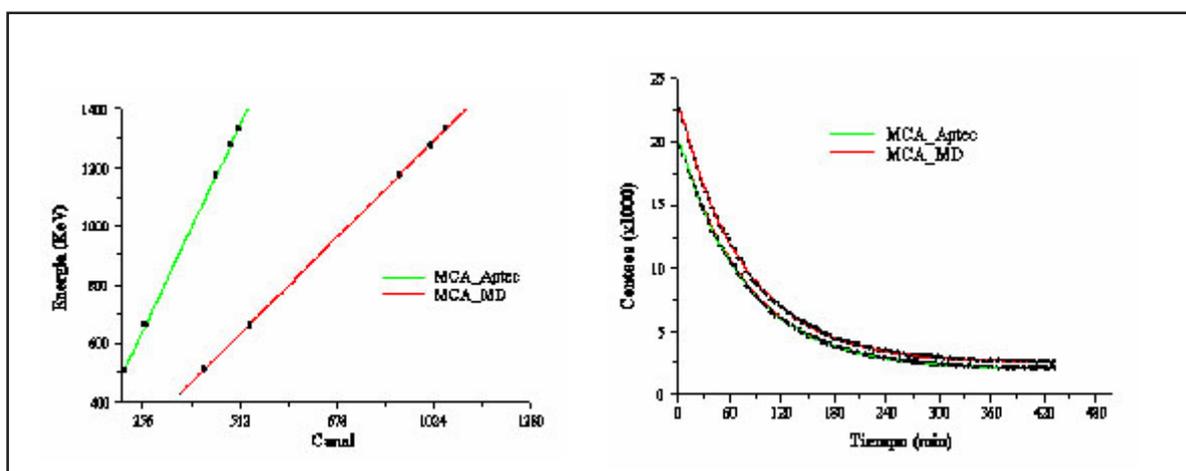


Figura 5. Gráficos obtenidos para la calibración y la curva de decaimiento del ^{116m}In.

Tabla 2. Valores obtenidos para el tiempo de semidesintegración del ^{116m}In para ambos sistemas

Sistema	Pendiente	Intercepto	Error	Error %
MCA_Aptec	2,7241	-53,222	0,0154	0,56
MCA_MD	1,2853	-26,532	0,0074	0,57

Los espectros obtenidos y la medición del $T_{1/2}$ del ^{116m}In demuestran el correcto funcionamiento del multicanal desarrollado. La prueba de linealidad integral y la calibración por energía muestran que el sistema cuenta con una linealidad mayor del 99,5%. En cuanto al tiempo muerto, el multicanal desarrollado muestra una disminución de este parámetro con respecto al MCA APTEC, lo que le permite trabajar a razones de conteos más altas.

CONCLUSIONES

Con el desarrollo de este trabajo se alcanzaron los siguientes resultados:

- El diseño y montaje de un Analizador Multicanal utilizando para ello la tarjeta de procesamiento de señales digitales D32Kitty.

- El diseño y construcción de la tarjeta InterfazMca para lograr la interfaz entre el ADC mod. 7411 de la firma comercial SILENA y la tarjeta D32Kitty y para realizar multiconteo con el sistema.
- El desarrollo del software MultiCanal MD v 1.0 para el control y visualización de la adquisición de los espectros.

El diseño y construcción de este sistema permitió contar con un Analizador Multicanal que puede ser utilizado en los laboratorios y centros de perfil nuclear del país y la región.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

[1] GLENN F. KNOLL, Radiation Detection and Measurement, 1988.

- [2] ZEBARTH, M.A., CHARLAND, M. J., A high performance multichannel analyzer with self contained isotope analysis capability, Midyear topical meeting of the Health Physics Society, Pasco, WA (USA), 5-9 Feb., 1984.
- [3] BEARD, B.C., DAHLGREN, D., ROSS, P.N. JR, Microcomputer-multichannel analyzer data system for foreground-background data collection and analysis, Journal of Vacuum Science and Technology, A Sep. Vol. 3(5), (1985)2041-2043.
- [4] SEYMOUR, R., BEDWELL, M., STOCKTON, S., BEAL, T., AHSAN, Z., PCA multiport, a universal computer-based multichannel analyzer. Winter meeting of the American Nuclear Society (ANS) session on fundamentals of fusion reactor thermal hydraulics. San Francisco, CA (United States) 10-15 Nov. 1991, Transactions of the American Nuclear Society, Vol. 64, (Nov. 1991)217-218.
- [5] ALONSO, D., ARISTA, E., BOLANOS, L., OSORIO, J.F., DEL PORTILLO, R., Design of a 1024-bands multichannel analyser based on a 8080 microprocessor, Nucleus-Havana (no.11), (1991)3-5.
- [6] ZOGHI, B., LEE, Y., A low-cost multichannel analyzer with data reduction assembly for continuous air monitoring system, IEEE-Transactions on Nuclear Science, Vol. 39(2), (Apr. 1992) 299-302.
- [7] CHIH HAO LEE, YEONG RUEY LIN, SHYH SHYONG CHIOU, KUEN BEY CHEN, YU WEN YU, A low cost and simple configuration of multifunctional multichannel analyzer based on a personal computer, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 162(1), (Sep. 1992)15-23.
- [8] MARCUS, E., ELHANANI, I., NIR, J., ELLENBOGEN, M., KADMON, Y., TIROSH, D., A Novel Architecture For Multichannel Analyzer Conference of the Nuclear Societies in Israel Dead Sea (Israel) 20-21 Dec. 1999, Final program and book of abstracts. 287 (20 Dec. 1999)159-161.
- [9] IMPERIALE, C., IMPERIAL, A., Some fast mono multi processor configurations for a single multi-parameter multichannel analyzer Measurement Volume 27, Issue 4 (June 2000)257-275.
- [10] BORSUK, S., GUZIK, Z., CHLOPIK, A, CHMIELEWSKA, D., INFELD, E., PREIBISZ, Z., ZUPRANSKI, P., Multichannel Analyzer P.C. Card, Annual Report 1999, Otwock-Swierk (Poland), 202(2000)77-78.
- [11] ROGEN H., D32Kitty. Digital Signal Processor based data acquisition board, Center of Investigations of Jülich, Germany, 1999.
- [12] SILENA ADC Mod. 7411, User's Guide, 1988.
- [13] AT&T Lucent DSP32c, Digital Signal Processor Information Manual 2, 1999.
- [14] Aptec, MCArd Manual, Installation Plus Technical Reference, 1992.

VIII OLIMPIADA IBEROAMERICANA DE FÍSICA

La VIII Olimpiada Iberoamericana de Física (OIBF), se celebró en octubre de 2003 en Cuba, organizada por el Ministerio de Educación con el coauspicio de la Sociedad Cubana de Física, la Facultad de Física de la Universidad de La Habana, CUBASOLAR, el Convenio Andrés Bello, la Federación Latinoamericana de Sociedades de Física, el Instituto Pedagógico Latinoamericano y Caribeño, la Academia de Ciencias de Cuba, el Grupo de la Electrónica del Ministerio de la Industria de las Comunicaciones y el Instituto Nacional de Deportes y Recreación.

En la olimpiada participaron 77 estudiantes de 19 países. En correspondencia con los estatutos de las OIBF la competición tuvo dos etapas: una teórica y otra experimental. Durante la competencia teórica, de cinco horas de duración, los participantes se enfrentaron a la solución de tres problemas y durante la experimental, también de cinco horas, a dos problemas.

Los problemas para la competición fueron elaborados por un Comité Científico integrado por profesores e investigadores de la Facultad de Física de la Universidad de La Habana, del Instituto de Cibernética, Matemática y Física y del Ministerio de Educación.

Los estudiantes que conformaron la delegación cubana fueron: Erislandis Cabrales Reyes del IPVCE "José Maceo", Guantánamo, Eudar Batista Hernández del IPVCE Silberto Álvarez, Granma, Adrián Alfredo Hernández Méndez del IPVCE "Máximo Gómez", Camagüey, y Hermis Torres Torres del IPVCE "José Martí", Holguín.

Ellos desempeñaron una gran labor al alcanzar cuatro medallas de oro, de las siete que fueron otorgadas (las otras tres correspondieron a un estudiante de Argentina, uno de España y otro de México). En total, 26 estudiantes cubanos han asistido a estas olimpiadas y han alcanzado 25 premios (11 medallas de oro, 7 de plata, 5 de bronce y dos menciones de honor).

La elevada calidad del trabajo desarrollado por el Comité Iberoamericano y el ambiente de fraternidad y amistad que prevaleció durante la jornada olímpica, contribuyeron al éxito de la competencia.

Olimpiada Iberoamericana de Física por:

- Estimular el estudio de la Física y el desarrollo de jóvenes talentos en esta ciencia.
- Propiciar el intercambio de experiencias y la amistad entre los países participantes.
- Promover la realización y desarrollo de competiciones nacionales, en correspondencia con las recomendaciones dadas por la UNESCO en 1989, que contribuyan a apoyar el talento y la iniciativa científica entre la juventud, en el contexto de lograr una educación científica para todos.

REVISTAS NUCLEARES DE IMPACTO

- ANNUAL REVIEW OF NUCLEAR SCIENCE (5.471)*
- JOURNAL OF NUCLEAR MEDICINE (4.015)
- RADIOLOGY (3.800)
- NUCLEAR PHYSICS B (3.722)
- EUROPEAN JOURNAL OF NUCLEAR MEDICINE (2.690)
- ATOMIC DATA AND NUCLEAR DATA TABLES (2.545)
- NUCLEAR FUSION (2.475)
- INTERNATIONAL JOURNAL OF RADIATION ONCOLOGY BIOLOGY PHYSICS (2.321)
- RADIATION RESEARCH (2.314)
- PHYSICAL REVIEW C-NUCLEAR PHYSICS (1.842)
- NUCLEAR PHYSICS A (1.821)
- ANTIBODY IMMUNOCONJUGATES AND RADIOPHARMACEUTICALS (1.800)
- RADIOTHERAPY AND ONCOLOGY (1.799)
- AMERICAN JOURNAL OF NEURORADIOLOGY (1.733)
- ADVANCES IN RADIATION BIOLOGY (1.714)
- SEMINARS IN NUCLEAR MEDICINE (1.603)
- PROGRESS IN PARTICLE AND NUCLEAR PHYSICS (1.354)
- ZEITSCHRIFT FUR PHYSIK A-HADRONS AND NUCLEI (1.326)
- RADIOLOGIC CLINICS OF NORTH AMERICA (1.316)
- JOURNAL OF NUCLEAR MATERIALS (1.264)
- NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION A-ACCELERATORS SP (1.188)
- IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE (1.183)
- JOURNAL OF PHYSICS G-NUCLEAR AND PARTICLE PHYSICS (1.142)
- NUCLEAR MEDICINE AND BIOLOGY (1.132)
- NUCLEAR MEDICINE COMMUNICATIONS (1.078)
- RADIOGRAPHICS (1.078)
- CARDIOVASCULAR AND INTERVENTIONAL RADIOLOGY (1.073)
- NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION B-BEAM INTERACTION (1.073)

() * **Factor de Impacto**

INSTRUCCIONES A LOS AUTORES

PARA PUBLICAR EN CIENCIAS NUCLEARES

Los artículos deben tener una extensión máxima de 10 cuartillas incluidas tablas (un máximo de 5) e ilustraciones (un máximo de 5). Se entregarán en disquete, en Word y en Arial 11. El total de líneas por páginas es 30 como máximo.

Los artículos tendrán el siguiente orden: Resumen (en español e inglés), Introducción, Materiales y Métodos, Resultados, Discusión, Conclusiones, Recomendaciones (opcional), Agradecimientos (opcional), Referencias Bibliográficas y Bibliografía Consultada. Estas secciones deben estar bien definidas, aunque no necesariamente con subtítulos.

Los artículos están sujetos a arbitraje y a la aprobación del Consejo Editorial.

Autor (es): Especificar nombres y dos apellidos así como la institución de procedencia. Los autores deben enumerarse por orden en relación con los experimentos e investigaciones realizadas (el primero como autor principal).

Título: No debe exceder de 100 letras, o 15 palabras, ni contener abreviaturas, fórmulas químicas, ni nombres patentados (en lugar de genéricos). Debe aparecer en español e inglés.

Resumen: No debe exceder de 150 palabras, ni contener siglas, abreviaturas ni referencias bibliográficas. Debe aparecer en pretérito, en español e inglés.

Introducción: Exponer con toda la claridad posible, la naturaleza y alcance de la investigación, revisar las publicaciones pertinentes, indicar el método de investigación si se estima necesario, mencionar los principales resultados de la investigación y expresar la conclusión o conclusiones principales sugeridas por los resultados.

Materiales y Métodos: La mayor parte de esta sección debe escribirse en pasado y dar toda clase de detalles. La finalidad principal es describir y que los resultados sean reproducibles. En los materiales hay que incluir las especificaciones técnicas y las cantidades exactas, así como la procedencia o el método de preparación. Se deben emplear los nombres genéricos o químicos.

Resultados: Debe hacerse una descripción amplia, clara y sencilla de los experimentos, ofreciendo un panorama general pero sin repetir los detalles experimentales de los Materiales y Métodos. Se deben presentar los datos más representativos. La exposición debe redactarse en pretérito.

Discusión: Deben presentarse de forma expositiva los principios, relaciones y generalizaciones que los Resultados indican. Se deben señalar las excepciones o las faltas de correlación y delimitar los aspectos no resueltos. Mostrar cómo concuerdan (o no) los resultados e interpretaciones con los trabajos anteriormente publicados. Deben exponerse las consecuencias teóricas del trabajo y sus posibles aplicaciones prácticas. Resume las pruebas que respaldan cada conclusión. Los tiempos verbales oscilarán entre el presente y el pasado.

Conclusiones: Deben formularse lo más clara posible. Pueden estar incluidas en la Discusión.

Recomendaciones (opcional)

Agradecimientos (opcional): Se debe agradecer cualquier ayuda técnica importante recibida de cualquier persona que haya colaborado en el trabajo, experimento, o provisión de equipos, materiales especiales, y otros. Pueden utilizarse frases como «doy las gracias a ...»

Referencias bibliográficas: Deben enumerarse solo obras importantes y publicadas. Si una referencia parece absolutamente esencial, se podrá añadir al texto entre paréntesis o como nota de pie de página. Deben cotejarse todas las partes de cada referencia contra la publicación original antes de presentar el artículo. Las referencias en el texto deben hacerse con números entre corchetes en el lugar en que se apliquen y siguiendo un orden consecutivo.

INSTRUCCIONES A LOS AUTORES

Bibliografía consultada: Debe enumerarse con números arábigos entre corchetes al final del trabajo. Los títulos de las publicaciones periódicas deben adecuarse al sistema INIS (véase EAEA-INIS-11). No deben incluirse las referencias a trabajos no publicados.

Abreviaturas, siglas y símbolos: Deben ser los aceptados internacionalmente. Las abreviaturas y siglas deben explicarse la primera vez que se mencionan. Los símbolos y caracteres griegos, al igual que los subíndices y supraíndices, deben definirse claramente.

Tablas: Deben ordenarse con numeración arábica e incluirse al final del trabajo. Los términos, las abreviaturas y los símbolos utilizados en las figuras deben ser los mismos que aparecen en el texto. No utilice caracteres, ni símbolos poco frecuentes (son preferibles los círculos, cuadrados o triángulos en blanco o rellenos). Si son muy complejos deben aclararse en una leyenda concisa. Los símbolos y caracteres deben ser claros y de tamaño suficiente, de manera que al reducirlos para la publicación sean legibles.

Ecuaciones y fórmulas: Deben escribirse con precisión, en especial los subíndices y supraíndices. Evite el uso de exponentes complicados y la repetición de expresiones elaboradas.

Unidades: Como norma general deberá emplearse el Sistema Internacional de Unidades y prescindir de símbolos y abreviaturas inadecuados.

PARA PUBLICAR EN OTRAS SECCIONES

Los artículos de las demás secciones de la revista deben tener como objetivo la difusión, con rigor científico y de forma asequible al público en general, de temas relacionados con la energética nuclear, las diversas aplicaciones de las técnicas nucleares, la seguridad nuclear, la protección radiológica, salvaguardias y no proliferación, energía nuclear e información pública, entre otros. Los trabajos no deben exceder las 10 cuartillas, incluidas ilustraciones y tablas. En las tablas e ilustraciones se seguirán las mismas indicaciones que rigen para los artículos de la sección Ciencias Nucleares. Las secciones son las siguientes: Panorama Nuclear, Ámbito Regulatorio, Salvaguardias y No Proliferación, En la Espiral e Innovación Tecnológica.

Los artículos están sujetos a la aprobación del Consejo Editorial.

INFORMACIÓN GENERAL

Los trabajos que no se acepten se devolverán al autor.

Los autores recibirán de forma gratuita un ejemplar de la revista donde aparece publicado su artículo.

VÍAS DE PRESENTACIÓN

En la redacción de la revista:

Calle 20, No. 4111-4113 e/ 18A y 47, Playa, Ciudad de La Habana, Cuba
correo electrónico: nucleus@cubaenergia.cu