

Acondicionamiento de las fuentes de radio 226 en Cuba

Juan Carlos Benítez Navarro¹, Mercedes Salgado Mojena¹, Niurka González Rodríguez¹, Rafael Castillo Gómez¹, Ania Berdellans Escobar¹, Lázaro Otero Cabrera²

¹Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones
Calle 20 N° 4113 e/ 41 y 47, Playa. La Habana, Cuba

²Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN)
Calle 30 N° 502 e/ 5ta Ave. y Calle 7ma. Playa. La Habana, Cuba
mercedes@cphr.edu.cu

Resumen

Debido al riesgo que representa el empleo del Ra-226, a nivel internacional se ha recomendado suspender la producción y uso de fuentes radiactivas selladas de este radionúclido. Consecuente con esto, las fuentes de Ra-226 en Cuba fueron recogidas, caracterizadas y acondicionadas. El trabajo describe los aspectos operacionales y de seguridad relacionados con el acondicionamiento de las fuentes radiactivas de Ra-226, para lo cual se requirió de una autorización de la Autoridad Reguladora, otorgada en forma de un Permiso Especial. Una evaluación radiológica de todas las operaciones, el informe de seguridad, así como el plan de emergencia se elaboraron y aprobaron antes de las operaciones. Se estableció un sistema integral de gestión de la calidad que demostró la confiabilidad del trabajo. Como resultado de estas operaciones, se encapsularon y acondicionaron 188,5 GBq de Ra-226 contenidos en diferentes tipos de fuentes radiactivas (agujas y tubos de braquiterapia, fuentes de control, etc.). Las cápsulas con las fuentes se acondicionaron para su almacenamiento prolongado dentro de cinco bultos, de manera que se puedan recuperar.

Conditioning of radium 226 sources in Cuba

Abstract

The production and use of Ra-226 sealed sources was internationally recommended to be halted for health and safety reasons. Consequently, all Ra-226 sources in Cuba were collected, characterized and conditioned. The paper describes the safety and operational aspects related to the Ra-226 conditioning. For this, a Special Permission was granted by the Regulatory Body, as required. A radiological assessment, a safety report as well as an emergency plan were prepared and approved before the operations. The work was accomplished with due reliability following an established comprehensive Quality Management System. As a result of these operations, 188.5 GBq of Ra-226, contained in different types of radiation sources (brachytherapy needles and tubes, standard sources for calibration, etc.) were encapsulated and conditioned. The capsules with the sources were conditioned in a retrievable form within five waste packages intended for long term storage.

Key Words: radium 226, radiation sources, sealed sources, encapsulation

Introducción

Las fuentes radiactivas selladas de Ra-226 han sido empleadas en Cuba desde la década del 40 para servicios de braquiterapia en diferentes hospitales del país. Debido a las características adversas del Ra-226 (formación del gas radiactivo Rn-222 y largo período de semidesintegración, 1600 años), internacionalmente se acordó suspender su uso con fines médicos y sustituirlo por otros radionúclidos

como el Cs-137, Co-60, Ir-192, entre otros. Consecuente con esto, las fuentes de Ra-226 fueron recogidas de los hospitales del país y trasladadas al almacén de desechos radiactivos del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR). El CPHR es la institución responsable de la gestión de los desechos radiactivos en Cuba [1]. Algunas de estas fuentes estaban deshermetizadas, lo que provocó la contaminación de contenedores y cajas metálicas donde estas se almacenaban.

El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) ha brindado asistencia técnica directa a los Estados Miembros en relación con la gestión de las fuentes en desuso de Ra-226 [2]. En el caso de Cuba se proporcionó el equipamiento necesario para las operaciones.

La gestión de las fuentes de Ra-226 en el CPHR incluyó caracterización, segregación y acondicionamiento de las fuentes de radio; almacenamiento de los bultos acondicionados; así como una evaluación de seguridad preliminar de todas las operaciones. Las operaciones comenzaron en 2005 con la caracterización, segregación e inventario de las fuentes de radio y concluyeron en julio de 2007, cuando se realizó el acondicionamiento.

Inventario de las fuentes de Ra-226

Las fuentes en desuso de Ra-226, fundamentalmente agujas y tubos de braquiterapia, se recogieron en diferentes instalaciones médicas de todo el país. Otras fuentes también fueron recogidas en industrias (usadas para diagrafía de pozos) y en instituciones docentes y de investigación (fuentes de control y docentes). No se disponía de información sobre las fuentes recogidas en las instalaciones usuarias, por tanto se desconocía la cantidad total de radio almacenada en las instalaciones de gestión de desechos radiactivos. Al ser esta información esencial para planificar las operaciones de acondicionamiento, se realizó una caracterización detallada de las fuentes (Fig. 1-a), que permitió identificar el radionúclido (para precisar que era realmente Ra-226) y estimar las actividades. Algunos tubos estaban incrustados en diferentes tipos de aplicadores médicos, que fue necesario desarmar para recuperar las fuentes (Fig. 1-b).



Figura 1. a) Caracterización de las fuentes de Ra-226; b) identificación de radionúclidos y recuperación de las fuentes de los aplicadores.

Un espectrómetro gamma portátil, modelo Exploranium, se empleó para identificar los radionúclidos. La actividad de las fuentes fue estimada a partir de la tasa de dosis medida a una distancia de 1 metro de estas, considerando la geometría de fuente puntual.

Una vez caracterizadas, las fuentes de braquiterapia fueron segregadas en grupos y colocadas en contenedores de plomo individuales, de manera que la actividad total no sobrepasara 1,85 GBq (50 mCi). Esta es la actividad máxima de Ra-226 a ser acondicionada por cápsula [2]. De esta forma se prepararon 81 contenedores con un total de 1009 agujas y tubos de braquiterapia. Otras 62 fuentes procedentes de otras aplicaciones fueron también caracterizadas y registradas. Finalmente se preparó un inventario detallado y actualizado de las fuentes de radio en desuso. La tabla 1 muestra un resumen de este inventario. Los niveles de radiación y de contaminación en la superficie de los contenedores con las fuentes de Ra-226 fueron también medidos y registrados. Las operaciones de caracterización/segregación se realizaron en un ambiente seguro, con la adecuada ventilación y tomando las medidas de protección radiológica necesarias.

Tabla 1. Resumen del inventario de las fuentes en desuso de Ra-226 en la instalación de almacenamiento de desechos radiactivos

Tipo de fuente	Cantidad total	Actividad, GBq	Actividad, mCi
Agujas y tubos de braquiterapia	1009	168,7	4559,8
Otras fuentes (diagrafía de pozos, docentes, de control, etc.)	62	19,8	533,9
Total	1071	188,5	5093,7

Las siguientes operaciones se planificaron de acuerdo con este inventario, y se estimaron las cantidades de materiales necesarias para el acondicionamiento (cantidad de cápsulas, contenedores de blindaje y tanques encamisados).

Autorización de las operaciones de acondicionamiento de Ra-226

El acondicionamiento de Ra-226 no estaba incluido entre las prácticas autorizadas en la Licencia Institucional de Operación de las Instalaciones de Gestión de Desechos Radiactivos vigente en esta etapa (CH26-L9(029)07). Por tanto fue necesario solicitar una autorización adicional para estas operaciones. La documentación en apoyo a esta solicitud incluyó el Informe de Seguridad correspondiente, los Procedimientos para todas las operaciones y el Plan de Emergencia.

El Informe de Seguridad contenía instrucciones de seguridad específicas para la manipulación de las fuentes en desuso de Ra-226. La preparación de puestos de trabajo adecuados y suficientes para la manipulación de las fuentes radiactivas fue un principio básico observado para evitar exposición ocupacional innecesaria y dispersión de la contaminación.

Los elementos y sistemas importantes para la seguridad incluyen: blindaje y confinamiento, segregación de las operaciones, pinzas, dispositivos de izaje, sistema de ventilación, vigilancia radiológica de zonas y puestos de trabajo durante las operaciones, vigilancia radiológica del personal, medios individuales de protección, sistema de recolección y control de efluentes.

De acuerdo con las regulaciones nacionales [3] y a las Series de Seguridad del OIEA [4], es necesario realizar una evaluación de seguridad de todas las operaciones relacionadas con la manipulación de las fuentes radiactivas para demostrar que la instalación y las operaciones son seguras. La evaluación de seguridad para las operaciones de acondicionamiento de las fuentes de Ra-226 fue realizada e incluida en el Informe de Seguridad. Se demostró que la metodología propuesta se podía implementar de forma segura y en correspondencia con los requisitos de protección radiológica para los trabajadores y el público.

Las dosis previstas para cada operador se estimaron teniendo en cuenta las actividades de Ra-226 que serían manipuladas, la configuración de los blindajes de cada puesto de trabajo, la distancia a las fuentes y el tiempo de exposición requerido para cada operación. Los resultados de la estimación de las dosis se muestran en la tabla 2. Las dosis efectivas en todos los casos fueron inferiores a la restricción de dosis establecida para las prácticas de gestión de desechos radiactivos, que es 10 mSv anual.

Tabla 2. Estimación de las dosis a recibir por los operadores durante el acondicionamiento de fuentes de Ra-226

Operador	Dosis efectiva total, mSv	Dosis equivalente en manos, mSv
Op1	1,8	14,3
Op2	0,6	31,1
Op3	0,6	31,1
Op4	0,2	3,6
Op5	3,1	9,4

En el Plan de Emergencia se analizaron los escenarios que pudieran resultar en una exposición accidental. Se incluyeron los siguientes sucesos postulados: caída de una caja metálica con contenedores con fuentes sin acondicionar durante su traslado desde la instalación de almacenamiento hacia el lugar de las operaciones; caída de un contenedor con fuentes sin acondicionar durante su manipulación; caída de una cápsula con fuentes antes de su sellado por soldadura; caída de una cápsula ya sellada; caída de bulto acondicionado durante su manipulación o transporte; interrupción de la energía eléctrica durante las operaciones de acondicionamiento. Teniendo en cuenta la magnitud y consecuencias de estos sucesos potenciales se planificaron las medidas de protección y se entrenó el personal.

El Informe de Seguridad, los procedimientos para todas las operaciones y el Plan de Emergencia fueron aprobados por la Autoridad Reguladora, quien realizó una inspección preliminar a las instalaciones de Gestión de Desechos Radiactivos para verificar el cumplimiento de los requisitos de seguridad. Durante esta inspección se realizaron las pruebas en frío, y se otorgó la autorización en forma de un Permiso Especial, CH26-P19(044)07.

Preparación de los puestos de trabajo y otras actividades preliminares

Equipamiento y materiales requeridos

La metodología de acondicionamiento de las fuentes de Ra-226 es diferente a la de otras fuentes radiactivas [2]. El sellado íntegro de las cápsulas para controlar la emanación de radón es esencial en este caso. La exposición a la radiación debe ser limitada con el uso de blindajes adecuados. Los contenedores de blindaje están diseñados para garantizar además, la protección física de las fuentes.

El equipamiento y dispositivos necesarios para el acondicionamiento de las fuentes de Ra-226 en Cuba

fueron proporcionados por el OIEA. Esto incluyó cápsulas de acero inoxidable, contenedores de blindaje, equipo de soldar TRITON 160 TIG-DC, mesa rotatoria para facilitar las operaciones de soldadura, sistema de filtración móvil y ventana de vidrio plomado.

Otra parte importante del equipamiento, dispositivos y materiales fueron adquiridos localmente o preparados por el CPHR. Por ejemplo: láminas de plástico, pinzas para la manipulación de las fuentes y las cápsulas, herramientas para grabado, tanques encamisados, contenedor de soldar, equipamiento para verificar la hermeticidad de las cápsulas después de soldadas, medios de protección individual, dosímetros personales, etiquetas, dispositivos de izaje, entre otros.

Preparación de los puestos de trabajo

Los puestos de trabajo para las operaciones de acondicionamiento se prepararon en la Planta de Tratamiento de Desechos Radiactivos (PTDR), garantizando un flujo adecuado de las fuentes radiactivas, desde su entrada a la instalación (sin acondicionar) hasta la salida como bulto acondicionado. Se prepararon 8 puestos de trabajo (PT1 a PT8).

Las superficies de los puestos de trabajo y el piso se cubrieron con plástico. El puesto de trabajo para la transferencia de las fuentes (PT2). Se prepararon con ladrillos de plomo y una ventana de vidrio plomado como blindaje. Sobre este puesto de trabajo se instaló un sistema de ventilación con filtros de alta eficiencia (HEPA). Las áreas designadas para el sellado de las cápsulas por soldadura y para el control de hermeticidad de estas, puestos de trabajo PT3 y PT4 respectivamente, se prepararon con los blindajes requeridos. Se garantizó la iluminación necesaria en todas las áreas. Una vista general de los puestos de trabajo PT2, PT3 y PT4 se muestra en la Fig. 2.



Figura 2. Puestos de trabajo para el acondicionamiento del Ra-226 (PT2, PT3 y PT4).

Descripción de las operaciones de acondicionamiento de las fuentes de Ra-226

Las fuentes de radio en Cuba se acondicionaron, siguiendo la metodología del OIEA [2]. Los contenedores de almacenamiento con las fuentes eran trasladados uno a uno desde la caja metálica situada en el puesto de trabajo PT1 hacia el puesto de trabajo PT2, donde se realizaba la transferencia de las fuentes a las cápsulas de acero inoxidable. La actividad total en la cápsula era verificada por los niveles de tasa de dosis medidos a una distancia específica de esta, usando la geometría de fuente puntual. Cuando la cápsula ya estaba llena (la actividad total era 1,85 GBq aproximadamente) se colocaba la tapa. Los valores de tasa de dosis y actividad total en la cápsula eran registrados; esta información luego era usada para completar el formulario del bulto acondicionado. Posteriormente la cápsula era trasladada al área de soldadura (PT3), donde se realizaba el sellado y se dejaba enfriar. La cápsula sellada era trasladada al PT4 para el control de hermeticidad de acuerdo con el método de la burbuja descrito en la Norma Internacional ISO 9978 [5].

Todas las fuentes de Ra-226 se colocaron en 84 cápsulas de acero inoxidable y selladas. Cinco de las cápsulas no pasaron el control de hermeticidad satisfactoriamente, se colocaron temporalmente en el PT8 y posteriormente fueron rectificadas. Las cápsulas selladas se colocaban en la cavidad correspondiente dentro del contenedor de blindaje situado en el puesto de trabajo PT5. Cuando el contenedor de blindaje era completado con las cápsulas selladas (máximo 10 cápsulas), se colocaba la tapa al contenedor y se fijaba con tornillos. Adicionalmente, el contenedor de blindaje y su tapa eran unidos en algunos puntos por soldadura para dar mayor protección física a las fuentes radiactivas. El contenedor era identificado con un código. Las tasas de dosis en su superficie eran medidas y registradas.

Los contenedores con las cápsulas se colocaron dentro de los tanques encamisados. De esta forma se prepararon cinco bultos acondicionados con fuentes de Ra-226. El cumplimiento de los criterios de aceptación establecidos para la instalación de almacenamiento fue controlado y registrado. El formulario del bulto acondicionado contiene una descripción detallada del bulto de los contenedores de blindaje y de las cápsulas con las fuentes radiactivas.

Almacenamiento del bulto acondicionado, recuperabilidad

Los bultos acondicionados fueron trasladados al Almacén de Desechos Radiactivos. Es reconocido que el acondicionamiento de las fuentes radiactivas en desuso minimiza el riesgo asociado a estas. Al colocar las fuentes de Ra-226 en cápsulas selladas se logró disminuir los niveles de Rn-222 dentro de la instalación de almacenamiento. Además, disminuyeron los niveles de tasa de dosis al aumentar las condiciones de blindaje de las fuentes radiactivas.

Las fuentes de Ra-226 fueron acondicionadas para su almacenamiento prolongado. Como el destino final de los desechos radiactivos en Cuba no se ha definido aún, el acondicionamiento de las fuentes radiactivas debe permitir su recuperabilidad, teniendo en cuenta posibles cambios de los criterios de aceptación para la disposición final [6]. La recuperación de los bultos acondicionados con fines de inspección, acciones de remediación, traslado a otra instalación de almacenamiento o disposición final se ha considerado de manera directa.

Sistema de gestión de la calidad

Se estableció un sistema integral de gestión de la calidad que demostró la confiabilidad del trabajo. Para el Servicio de Gestión de Desechos Radiactivos se ha implementado un sistema de gestión de la calidad en correspondencia con la Norma ISO 9001 [7]. Este servicio comprende todas las etapas de la gestión: recogida, transportación, caracterización, segregación, tratamiento, acondicionamiento y almacenamiento de los desechos radiactivos y las fuentes en desuso. La gestión de las fuentes de Ra-226 fue también incluida dentro de este sistema de calidad. Todas las operaciones fueron documentadas y quedó establecido un adecuado sistema para el registro de toda la información.

Controles radiológicos durante y después de las operaciones de acondicionamiento

Durante el acondicionamiento de las fuentes de Ra-226 se realizaron controles radiológicos en los puestos de trabajo a través de mediciones de tasas de dosis y de contaminación superficial. La concentración de Rn-222 fue medida online durante las operaciones.

Al concluir los trabajos de acondicionamiento se realizaron controles radiológicos detallados en todas las áreas de la PTDR (Fig. 3). Se detectó contaminación removible en algunos lugares del laboratorio que

fue totalmente eliminada. Actualmente, no existe contaminación en la instalación debido a las operaciones de acondicionamiento de las fuentes de Ra-226.



Figura 3. Controles radiológicos finales (después de las operaciones de acondicionamiento).

Vigilancia radiológica del personal

Las dosis recibidas por los operadores durante las operaciones de acondicionamiento fueron monitoreadas con el uso de dosímetros personales termoluminiscentes (TLD): un dosímetro cuerpo entero, dos de extremidades y un TLD en la frente para estimar las dosis en el cristalino. Las dosis recibidas por los operadores se resumen en la Tabla 3. En la mayoría de los casos las dosis recibidas están por debajo de las previstas. Todos los valores están por debajo de los límites de dosis establecidos en la legislación cubana, y las dosis equivalentes personales cuerpo entero fueron muy inferiores a las restricciones de dosis establecidas para las prácticas de gestión de desechos radiactivos, que es 10 mSv anual.

Tabla 3. Dosis de radiación externa recibidas por los operadores durante el acondicionamiento de las fuentes de Ra-226

Operador	Extremidades		Cristalino	Cuerpo entero
	Dosis equivalente (mSv)		Dosis equivalente personal Hp(3) (mSv)	Dosis equivalente personal Hp(10) (mSv)
	Mano izquierda	Mano derecha		
Operador 1	13,55	14,48	1,49	0,85
Operador 2	8,05	9,70	0,98	1,31
Operador 3	3,17	9,55	0,37	0,38
Operador 4	14,32	6,46	0,26	0,00
Operador 5	22,16	4,00	0,56	0,00

Debido a que algunas fuentes de radio estaban deshermetizadas, existía el riesgo de contaminación interna por ingestión o inhalación. Las dosis por contaminación interna se evaluaron por mediciones *in vitro* de muestras de orina, tomadas antes, durante y después de las operaciones de acondicionamiento. No se detectó contaminación interna en ninguno de los operadores.

Conclusiones

La documentación requerida para la solicitud de la autorización para el acondicionamiento de las fuentes de Ra-226 (procedimientos, informe de seguridad y plan de emergencia) fue elaborada y enviada a la Autoridad Reguladora para su revisión y aprobación. Se realizó una evaluación radiológica preliminar de todas las operaciones, demostrando que estas se podían realizar en un ambiente seguro y cumpliendo los requisitos de protección radiológica para los trabajadores y el público. La autorización fue otorgada en forma de un Permiso.

Se realizó una caracterización detallada de todas las fuentes de Ra-226 que permitió actualizar el inventario, facilitando la planificación adecuada del resto de las operaciones.

Se prepararon los puestos de trabajo, garantizando los blindajes y el confinamiento requeridos para las fuentes y los materiales radiactivos. Esto, junto a una adecuada planificación de las operaciones resultó en bajas dosis de exposición para los operadores y ausencia de contaminación al finalizar las operaciones.

Como resultado de estas operaciones, 188,5 GBq de Ra-226 fue acondicionado de manera segura de acuerdo con la metodología recomendada internacionalmente y con el sistema de gestión de la calidad establecido. Todas las fuentes se colocaron en 84 cápsulas selladas de acero inoxidable, que a su vez se acondicionaron en los contenedores de blindaje dentro de los tanques encamisados. Se prepararon cinco bultos acondicionados que fueron colocados en el Almacén de Desechos Radiactivos. La recuperabilidad de las cápsulas se consideró en el proceso de acondicionamiento.

Con el acondicionamiento de las fuentes de Ra-226 se mejoraron las condiciones de seguridad

radiológica y física en la instalación de almacenamiento de desechos radiactivos.

Agradecimientos

Las operaciones descritas en este trabajo se organizaron y supervisaron por la Sección de Tecnología de los Desechos del OIEA. Los autores quieren expresar su agradecimiento al personal de apoyo de la Planta de Managua, especialmente a Carlos Rodríguez; Aramis Lara; Juan R. Potete; Giovanni Turroella; Jose A. Duque; Alberto Torres; Argenis Pérez; Rolando Labrada; Carlos Landa; Caridad Sosa; Mayra Ortiz; Belquis Fonseca; Jorge Murillo; Alberto Li y Juan A. Labañino.

Referencias Bibliográficas

- [1] BENÍTEZ JC, SALGADO M, JOVA L. Management of radioactive wastes from non-power applications. The Cuban experience. Proceedings of the International Conference on Management of Radioactive Wastes from Non-Power Applications. Sharing the experience. Malta. Nov, 2001.
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Conditioning and interim storage of spent radium sources. IAEA TECDOC 886. Vienna: IAEA, 1996.
- [3] GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA DE CUBA. CITMA Resolution No. 25/98. Authorization of practices associate with the use of ionizing radiations. Gaceta Oficial de la República de Cuba, 1998.
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Predisposal management of radioactive waste, including decommissioning. Safety Standards Series No. WS-R-2. Vienna: IAEA, 2000.
- [5] SALGADO M, BENÍTEZ JC, FERNANDEZ IM, MARRERO M. Implementation of a quality assurance system in radioactive waste management in Cuba. Proceedings of ICGEM '03: The 9th International Conference on Radioactive Waste Management and Environmental Remediation. Oxford, England. Sept, 2003.
- [6] INTERNACIONAL STANDARD. Radiation protection. Sealed radioactive sources. Leakage test methods. ISO 9978:1992. 1992.
- [7] BENÍTEZ JC, SALGADO M. Disused SRS management in Cuba: Retrievable conditioning. IAEA-WMDB-ST-4. 2004.

Recibido: 10 de enero de 2011

Aceptado: 28 de abril de 2011