



**ASEGURAMIENTO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL
PROCESO: “SEPARACIÓN DE Ru-103 Y I-131 DE MOLIBDENO-99
PRODUCTO DE FISIÓN” UTILIZANDO ESPECTROMETRÍA GAMMA.**

Qca. Marcela Isabel Moreno Tovar.

**Trabajo final integrador
Especialización en Calidad Industrial**

INSTITUTO DE CALIDAD INDUSTRIAL INCALIN-INTI /UNSAM

AÑO: COHORTE 2019/2020

FECHA: 11DICIEMBRE 2020



INDICE

RESUMEN	3
OBJETIVO	4
ALCANCE	4
2. INTRODUCCION.....	5
2.1 Importancia del molibdeno-99.....	7
2.2 Consideraciones radioquímicas del Rutenio	8
2.3 Espectrometría gamma	8
2.4 Términos usados en el ámbito nuclear.....	9
3. GESTION DE LA CALIDAD	11
4. PROCESO: Separación de Ru-103 y I-131de Molibdeno-99 producto de fisión.....	15
4.1 Método de Separación del Ru-103 del Mo-99 (Diagrama 1).....	16
4.2 Separación de I-131 de Molibdeno-99	18
4.3 Identificación y cuantificación del Ru-103 y I-131.	21
5. CONCLUSION	27
6. BIBLIOGRAFIA.	28
7. ANEXOS	29

RESUMEN

Dentro de las diferentes actividades realizadas por la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), se encuentra la producción de radioisótopos, destinados a técnicas de diagnóstico de enfermedades y a tratamientos de alta complejidad. Para ello utiliza el reactor RA-3 (reactor Argentino N°3), ubicado en el Centro Atómico Ezeiza, en donde por procesos de fisión se producen: iodo-131, cromo-51, fósforo-32, lutecio-177 y Molibdeno-99, siendo este último uno de los radioisótopos más utilizados en medicina nuclear y sobre el cual se centrará este trabajo.

Una vez obtenido el molibdeno-99, pasa a la planta de producción para su respectivo fraccionamiento, control de calidad, embalaje y despacho.

El control de Calidad de este radioisótopo es realizado mediante metodologías que siguen las normativas, disposiciones y lineamientos de buenas prácticas establecidas por la Administración Nacional de medicamentos y Tecnología Médica (ANMAT), Farmacopea Europea y métodos analíticos propios desarrollados en la instalación.

Es así que para cumplir con la reglamentación a nivel nacional e internacional es de suma importancia realizar un control radionucleídico de las impurezas presentes en este molibdeno-99. Son consideradas como impurezas el Rutenio-103, Iodo-131, Iodo-132, y Teluro-132.

Para ello fue desarrollado un método de separación química para el rutenio-103 y el iodo-131 en la muestra de molibdeno-99, seguido de una determinación cuantitativa de los isótopos mediante el empleo de un sistema de detección Gamma, equipado con un detector de Germanio hiperpuro.

La división, Garantía de Calidad, verifica el correcto uso y registro de toda la documentación que interviene durante el proceso, asegurando así que los resultados obtenidos estén alineados con las políticas de calidad de la institución.



OBJETIVO

Analizar el proceso de separación y cuantificación de las impurezas presentes en muestras de Molibdeno-99 a granel producto de fisión. Verificando el cumplimiento de las especificaciones establecidas a nivel nacional e internacional.

ALCANCE

El siguiente análisis alcanza a todos los lotes de Molibdeno-99 a granel, producidos en el reactor RA-3 del Centro Atómico Ezeiza, fraccionados por la Planta de producción de radioisótopos y controlados por personal de la División Control de Calidad.



2. INTRODUCCION

El 31 de mayo de 1950 bajo decreto del Poder Ejecutivo Nacional N° 10936/50 se creó la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Sus facultades y funciones están establecidas principalmente en la Ley Nacional de la Actividad Nuclear.

La República Argentina es reconocida a nivel internacional en el área nuclear, al ser incorporada al Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) el 15 de Mayo 1957.

La CNEA tiene su Sede Central en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y cuenta con presencia en diferentes regiones del país. Actualmente cuenta con un capital humano cercano a las 2850 personas entre profesionales, técnicos, auxiliares, tanto en el área administrativa como en el área de investigación y desarrollo.

Tiene como misión el desarrollo de las aplicaciones de la tecnología nuclear con fines pacíficos, siguiendo los lineamientos fijados por sus políticas de calidad y ambiente, de acuerdo con las normativas de seguridad y protección radiológica establecidas por la Autoridad Regulatoria Nuclear y cumpliendo con la legislación vigente y los compromisos internacionales asumidos por el país.

Como parte de su misión institucional, la CNEA realiza investigación básica y aplicada en energía nuclear y sus aspectos relacionados. Además, desarrolla tecnologías de alto valor agregado y las transfiere al sector productivo.

Estos usos de la tecnología nuclear derivan, en su mayoría, de la utilización de radioisótopos en áreas relacionadas con la salud, la industria y el agro.

En la República Argentina, existen reactores de investigación que proveen de los radioisótopos necesarios para realizar y desarrollar estas aplicaciones y garantizar el suministro de este recurso indispensable.

Dentro de estos se encuentra el reactor de investigación y producción, RA-3 (reactor Argentino), inaugurado en diciembre de 1967 dentro del predio del Centro Atómico Ezeiza (CAE). Cabe mencionar otras fechas que marcaron la evolución en el desarrollo del CAE y su producción de radioisótopos: En 1971 se da inicio a la operación de la planta de producción de radioisótopos, el 27 de Marzo se da una reinauguración de este reactor con un núcleo de elementos combustibles de bajo enriquecimiento diseñado y construido por la CNEA, el 31 de Mayo de 1995 es inaugurada la planta de

producción de Molibdeno-99 a escala industrial, por último en Agosto del 2002 empieza la producción regular del radioisótopo molibdeno-99 por fisión utilizando blancos con uranio de bajo enriquecimiento(20%) desarrollados en la CNEA, convirtiéndose en el primer país en hacerlo.

A lo largo de su vida útil el RA-3 ha recibido una serie de modificaciones que le permitieron aumentar la potencia de operación a 10 MW y, en consecuencia, aumentar la producción de radioisótopos.

Actualmente produce Molibdeno-99, Iodo-131, Cromo-51, Samario-153, y Fósforo-32 para medicina nuclear, Iridio-192 para fuentes de gammagrafía y Lutecio-177 para el desarrollo de nuevos radiofármacos.

Estos radioisótopos pasan a la Planta de Producción la cual tiene como objetivo producir y fraccionar los mismos. Está constituida por un conjunto de celdas blindadas con plomo en las paredes, en condiciones de estanqueidad y de atmósfera controlada. Se ubican alrededor de un corredor denominado “caliente”, que se operan desde los laboratorios, por donde ingresa el material irradiado proveniente del Reactor RA-3.

El control de calidad de los radioisótopos lo realiza el personal de la División Control de Calidad (CNEA), y el control radiológico, el personal de la Sección Protección Radiológica (CNEA).

El laboratorio Control de Calidad realiza semanalmente todos los controles para la aprobación de los radioisótopos y radiofármacos, elaborados en la planta de producción y planta de fisión.

Las metodologías de análisis empleadas siguen las normativas, disposiciones y los lineamientos de buenas prácticas establecidas por la Administración Nacional de Alimentos, Medicamentos y Tecnología Médica (ANMAT), Farmacopea Europea y métodos analíticos desarrollados en la CNEA.

En los laboratorios de Control de Calidad se realiza:

- Identificación y pureza radionucleídica para los principios activos, productos a granel y productos terminados, iodo-131: solución oral, cápsulas, Molibdeno-99, Cromo-51, Samario-153EDTMP.
- Pureza radioquímica para los productos a granel y terminados.
- Ensayos químicos para los productos terminados
- Controles microbiológicos para los productos terminados 18FDG, 153Samario-EDTMP.
- Control de envases para dispensación de los productos
- Control de las materias primas utilizadas para la elaboración de los radioisótopos y radiofármacos.

Dispone de equipamiento como: Detectores de Germanio Hiperpuro, Calibradores de dosis, Radio Cromatógrafo, Cromatógrafo gaseoso, Autoclaves para esterilización por vapor, Espectrofotómetros, Balanzas analíticas, Cabinas de flujo laminar, Campanas radioquímicas, Estufas de cultivo para levaduras y bacterias, entre otros. Cada uno de ellos es calibrado y verificado por personal perteneciente a la institución o personal externo.⁽¹⁾

2.1 Importancia del molibdeno-99

El Mo-99 de alta actividad específica, obtenido por fisión del uranio, es el radionucleído utilizado por excelencia como precursor en la producción de generadores Mo-99/ Tc-99m. Actualmente el Tc-99m, es el radioisótopo de mayor uso y el más empleado en el diagnóstico en Medicina Nuclear, debido a sus excelentes propiedades físicas para la realización de estudios médicos.

La CNEA comercializa el Mo-99 sólo como producto a granel el cual es usado por otras empresas en la producción de generadores Mo-99/ Tc-99m.

Como el producto a granel Mo-99 contiene radionucleídos que son impurezas y los mismos se encuentran en niveles de trazas, es imprescindible la separación radioquímica para su detección y cuantificación de modo que el producto “Mo-99 granel” pueda ser controlado y asegurar que la calidad radionucleídica del producto se encuentra dentro de las especificaciones establecidas a nivel nacional e internacional

Dentro de las impurezas propias del Mo-99, como producto de fisión del uranio, requeridas para su control se encuentran Sr-89, Sr-90, Ru-103, y I-131, I-132 y Te-132.

El método aplicado por el Laboratorio de Control de Calidad de la PPR, Método de Separación del Ru-103 de muestras de Mo-99, es un método que no se encuentra normalizado, ni se encuentra recomendado por la Farmacopea Europea, fue validado por personal de la CNEA y sus resultados formaron parte del trabajo final presentado para optar al título: Especialización en Radioquímica y aplicaciones nucleares, de un integrante de la división.⁽²⁾

La pureza radionucleídica se define como la relación que existe entre la actividad de un radionucleído dado, respecto a la actividad de la muestra.

La pureza radionucleídica depende de los períodos de semi-desintegración de la impureza y del radionúclido de interés, por lo cual no es un fenómeno estacionario. Comúnmente se exige un 99% de pureza radionucleídica.

2.2 Consideraciones radioquímicas del Rutenio

El rutenio radiactivo se encuentra con los productos de la fisión del uranio y plutonio de los reactores nucleares. Se conocen 19 isótopos radiactivos del rutenio, entre los que se encuentran principalmente Ru-103 y Ru-106.

El Ru-103 posee un $T_{1/2}$ de 39,255 días y las energías gamma involucradas son 497,08 keV (intensidad 89,9%) y 610 KeV (intensidad 5,64%).

2.3 Espectrometría gamma

Esta técnica, consiste en la determinación cuantitativa de los radioelementos emisores gamma presentes en las muestras objeto de estudio. Para ello, el sistema de espectrometría recoge el espectro de radiación de la muestra, que una vez comparado con el espectro de energías discreto de los radioelementos de referencia, permite la identificación de tales radioelementos presentes en la muestra. Tiene la ventaja de ser una técnica multi elemental y no destructiva.

El sistema de espectrometría consta de un conjunto de dispositivos especialmente diseñados para la medida de fotones gamma. El principal elemento del sistema de medida es el detector, consistente en un cristal semiconductor de germanio de alta pureza (1 átomo de impureza por cada 10^{12} átomos de Ge), sobre el que se aplica una diferencia de potencial elevada, a fin de establecer un intenso campo eléctrico. La radiación gamma de energía procedente de la muestra interacciona con el detector mediante los procesos característicos de altas energías: efecto fotoeléctrico, Compton o producción de pares. La energía depositada por el fotón se transforma en portadores de carga electrón-hueco, que bajo la acción del campo eléctrico generan un pulso de corriente proporcional a dicha energía. El detector está conectado a una cadena electrónica convencional que amplifica la señal eléctrica, y en última instancia genera el espectro de radiación gamma. El preamplificador y el amplificador dan forma y amplifican linealmente el pulso eléctrico. El convertidor analógico digital (ADC) transforma la señal

analógica en un dígito, denominado canal C, proporcional al voltaje máximo del pulso, y por tanto proporcional también a la energía depositada por la radiación en el detector. La señal digital es procesada por un PC que genera el espectro gamma $n(C)$, consistente en la representación del número n de detecciones para cada canal C. El espectro de una muestra que emite un conjunto de energías gamma consiste en un continuo, procedente fundamentalmente de las radiaciones que depositan su energía parcialmente mediante efectos Compton simple y múltiples, sobre el cual se sitúan los fotopicos, generados tras cesión total de la energía del fotón. La posición de un fotopico en un espectro es proporcional a la energía del fotón gamma que lo origina.⁽²⁾

2.4 Términos usados en el ámbito nuclear.

Radioactividad

Fenómeno que se produce de manera espontánea en núcleos de átomos inestables emitiendo, mediante su desintegración en otro estable, gran cantidad de energía en forma de radiaciones ionizantes. El ritmo de emisión y el tipo y energía de las radiaciones emitidas son característicos de cada elemento radiactivo.

Las radiaciones ionizantes generadas en la desintegración radiactiva pueden ser de tres tipos:

- Alfa, es un flujo de partículas positivas constituido por dos protones y dos neutrones.
- Beta, es un flujo de electrones producido por la desintegración de neutrones en los núcleos radiactivos.
- Gamma, es un flujo de ondas electromagnéticas de alta energía si proviene de la restructuración del núcleo o de mucha energía si proviene de la reestructuración de capas profundas del átomo (rayos X). (3)

Actividad (símbolo A)

La actividad de una muestra de sustancia radiactiva es el cociente diferencial de N con respecto al tiempo donde N es el cambio medio en el número de núcleos en un estado energético particular debido a transformaciones nucleares espontáneas en un intervalo de tiempo de duración dt .⁽⁶⁾

$$A = \frac{dN}{dt}$$



Unidades de actividad

- **Becquerel (Bq).** El becquerel es una unidad SI de radioactividad definida en 1975. Se nombra en honor a Henri Becquerel, un físico francés que descubrió la radioactividad en 1896. Un becquerel (1Bq) equivale a 1 desintegración por segundo.
- **Curie (Ci).** El curie es una unidad de radioactividad fuera del SI, definida en 1910. Reconocida en la 12ª conferencia general de pesas y medidas en donde se acepta su uso a pesar de estar fuera del SI, debido a su amplio uso en muchos países. Originalmente se definió como equivalente al número de desintegraciones que sufrirá un gramo de radio-226 en un segundo. ⁽⁴⁾

Actualmente, un curie se define como $1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10}$ desintegraciones por segundo o $1\text{ curie (Ci)} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$

3. GESTION DE LA CALIDAD

Como parte del proceso de mejora continua, la CNEA, revisó y actualizó su Plan Estratégico institucional para el periodo 2015-2025. Proceso en el cual involucró a 250 personas las cuales representaban las diferentes áreas de la CNEA y mediante ellas involucró indirectamente a todo el personal de la institución. Empleó el diálogo participativo como nucleador de opiniones, buscando incrementar el compromiso institucional. Para cada una de las áreas temáticas se efectuó una revisión de sus Fortalezas, Debilidades y de las Oportunidades y Amenazas, como así también los objetivos, logros y dificultades.

En esta revisión la CNEA ratificó su Misión y Visión, las cuales están alineadas con su Política de Calidad (Anexo 1).

Misión

“Asesorar al Poder Ejecutivo en la definición de la política nuclear, llevar a cabo investigaciones y desarrollos tecnológicos, ingeniería y servicios en el área, dentro del marco de los usos pacíficos de la energía nuclear”.

Visión

“Consolidar la posición de CNEA como organismo de referencia del desarrollo nuclear Argentino, siendo la entidad sobre la que se respalde toda la actividad nuclear del país y fortalecer la posición de Argentina en el mundo como líder en los usos pacíficos de la energía nuclear” ⁽⁵⁾.

Actualmente la Comisión Nacional de Energía Atómica presenta en su organigrama (figura 1) una Presidencia, vicepresidencia y diferentes tipos de gerencias. Cada centro Atómico, tiene adscrita una Gerencia de Gestión de la Calidad aunque no se evidencia dentro del organigrama general. Estas gerencias se encargan de velar por la correcta implementación de toda la documentación normativa y sus subsecuentes.

La gerencia de Calidad ratificó su Misión, Visión y objetivos de la Gestión de la Calidad 2015-2025.

Misión.

“Participar en la formulación y revisión periódica de la Política de la Calidad de la CNEA, instrumentando las acciones necesarias para que dicha política sea implementada en todos los sectores, propendiendo a la mejora continua”.

Visión.

“Lograr que el personal de la Institución, liderado por las autoridades, sea parte activa de la aplicación de la Política de la Calidad de CNEA”.

Dentro del listado de objetivos del sector (Anexo 1), el enumerado como 6: Contribuir a la confiabilidad metrológica en las actividades de los laboratorios e instalaciones en CNEA. Es para la División Control de Calidad del CAE uno de los objetivos a cumplir y mejorar.

Existe también la Gerencia de Gestión Ambiental, a través de ella, la CNEA se ocupa de la implementación y cumplimiento de la Política Ambiental Institucional a través del Sistema de Gestión Ambiental y la aplicación de los procedimientos e instructivos en todos los organismos, departamentos regionales, centros atómicos y sitios donde desarrolla sus actividades.

El Manual de Sistema de Gestión Ambiental de la CNEA define como objetivo general "lograr la mejora continua del desempeño ambiental de la Institución. Además, precisa los componentes básicos, las responsabilidades y las principales herramientas para su implementación"⁽⁵⁾



Argentina **unida**



Organigrama. Comisión Nacional de Energía Atómica

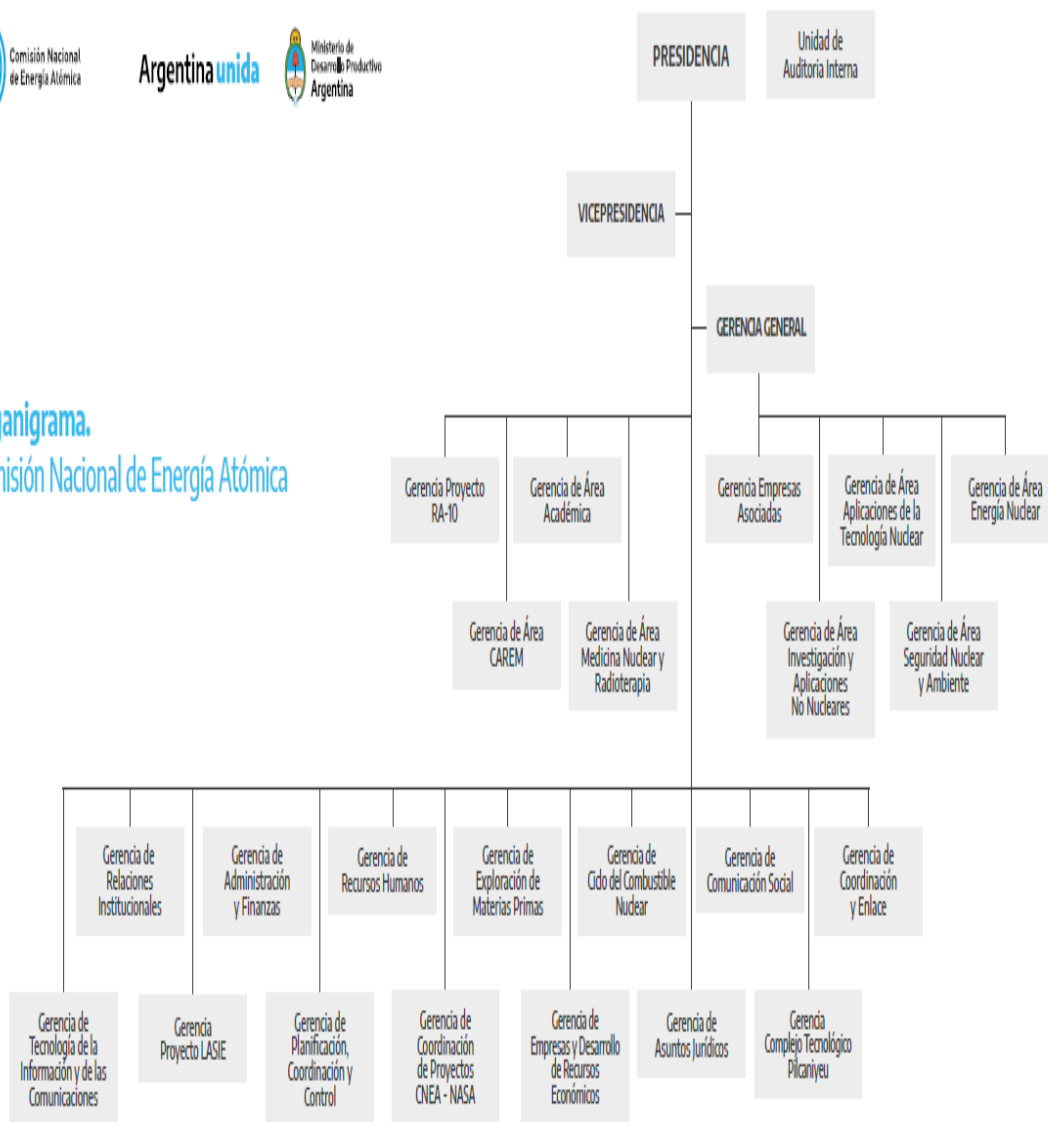


Figura 1. Organigrama Comisión Nacional de Energía Atómica.(1)

Todo lo referido a la Gestión de la calidad de la División control de Calidad depende de la Gerencia de Área Aplicaciones de la Tecnología Nuclear (GAATN), con su División Garantía de Calidad. Esta División se encarga de mantener actualizada toda la documentación usada en los laboratorios de Control de Calidad de la Planta de Producción de Radioisótopos del CAE. Entiéndase como documentación: Procedimientos operativos, instrucciones de trabajo, Plan maestro de Calibración, registros analíticos, registros de lote y formularios en general, entre otros. También se encarga de realizar auditorías internas, revisar desvíos y realizar capacitaciones internas al personal.

En cuanto a la parte metrológica los puntos 8 y 9 de la Política de Calidad enuncian:

8- Promover la mejora en la calidad de las mediciones, asegurando el cumplimiento de estándares metrológicos en las mismas.

9- Asegurar la trazabilidad al sistema internacional de unidades (SI), según lo establecido por el Bureau Internacional de pesas y medidas (BIPM), en particular, de las unidades del ámbito nuclear mantenidas y diseminadas por los laboratorios metrológicos de CNEA, designados como laboratorios nacionales de referencia para radioisótopos y radiaciones ionizantes.

Con la finalidad de conseguir la armonización de términos, definiciones, símbolos y unidades es usada como referencia la norma ISO 80000-10 segunda edición 2019, Cantidades y unidades, Física nuclear y Atómica. Esta norma se encuentra referenciada en la guía del Sistema Internacional de Unidades de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM). Está compuesta por 13 partes diferentes, 11 ISO y dos de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC). ⁽⁶⁾

Dentro de los laboratorios metrológicos de la CNEA se encuentra el laboratorio Metrología de Radioisótopos (LMR), en el predio del CAE, realiza numerosas actividades desarrollando nuevos métodos de medición, simulando los procesos físicos en detectores y fuentes radiactivas. Actividades que se realizan:

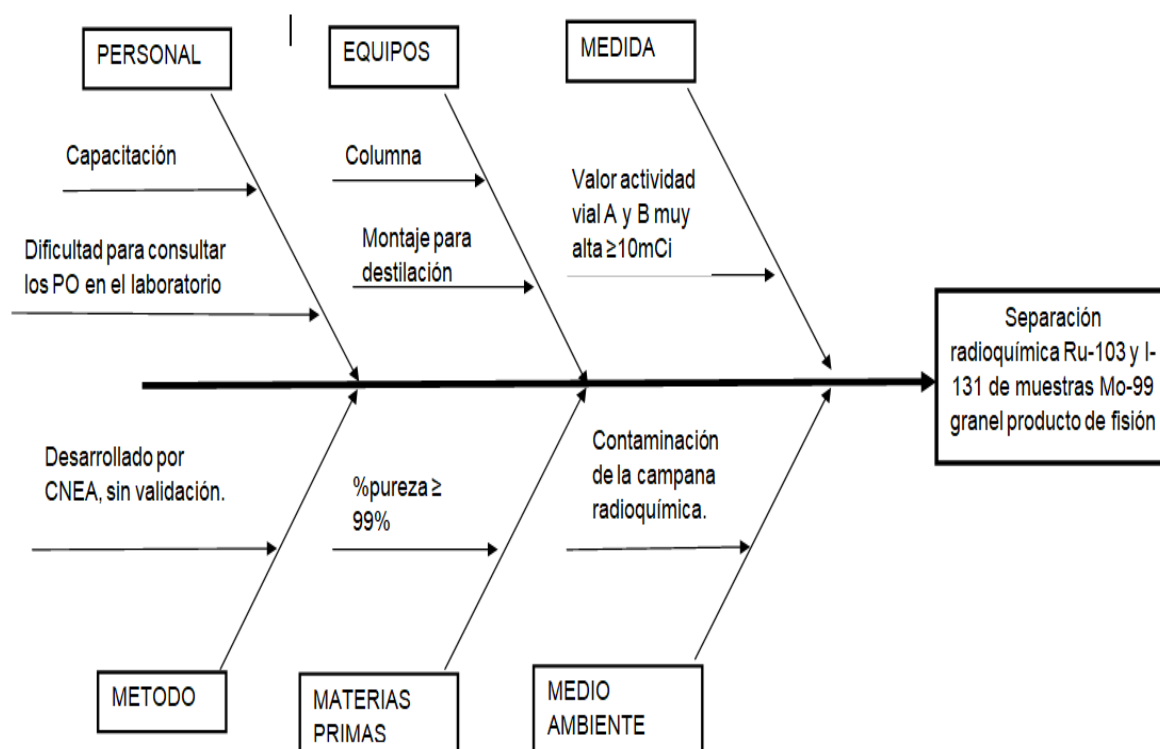
- Investigación y desarrollo en métodos primarios y secundarios de medición de radiactividad.
- Preparación y certificación de patrones radiactivos.
- Servicio de calibración de activímetros para centros de medicina nuclear.
- Preparación de fuentes de referencia de ^{137}Cs para control de activímetros.
- Servicio de medición de radiactividad en muestras ambientales y controles industriales.

El laboratorio de Metrología del CAE se encarga de suministrar y certificar las fuentes radioactivas usadas en los laboratorios de control de Calidad empleadas para la verificación y calibración de los equipos que lo requieran, entre ellos el

detector de Germanio Hiperpuro usado en la determinación cuantitativa por espectrometría Gamma de las impurezas del Mo-99 producto a granel. ⁽¹⁾

4. Proceso: Separación de Ru-103 y I-131 de Molibdeno-99 producto de fisión

Con la finalidad de determinar los factores que afectan los procesos de separación de Ru-103 y I-131 de muestras de Mo-99 fue planteado:



Cada factor fue evaluado y durante el proceso de validación del método fueron solucionados estos factores.

El método de separación descrito a continuación, se encuentra como copia controlada a disposición de cualquier Técnico o personal que lo requiera, en el laboratorio designado como: Lab 21B Moli-99, codificado como: PO-ATN31C-093 "Separación de Ru-103 y I-131 de Molibdeno de fisión".

Debido a que todo el proceso debe realizarse bajo campana radioquímica fueron realizados los diagramas 1, 2 y 3 para resumir y agilizar el procedimiento, así se evitan posibles contaminaciones. Estos diagramas se encuentran adheridos al lado izquierdo de la campana para ser visualizados con rapidez.

4.1 Método de Separación del Ru-103 del Mo-99 (Diagrama 1).

El objetivo de la separación radioquímica es la identificación y cuantificación del Ru-103.

Destilación:

La separación radioquímica se realiza por medio de una destilación del rutenio como (RuO_4^{-2}), en medio fuertemente ácido, lográndose la separación del Ru-103 de una muestra de Mo-99, conteniendo otras impurezas tales como: I-131, I-132 y Te-132.

La destilación del rutenio como (RuO_4^{-2}), es lograda gracias al poder oxidante que aporta el bismutato de sodio y el perclorato de sodio. La destilación de rutenio requiere rutenio portador, disponible comercialmente como una mezcla de hidratos de RuCl_3 . El portador oficia de carrier para el Ru-103 el cual es arrastrado y colectado en el vial debido al vacío aplicado y regulado externamente (evitando el reflujo del destilado). Ver figura 1.

El agregado del ácido ortofosfórico cumple con el objeto de formar un complejo con el Mo-99, evitando así su destilación. La temperatura del proceso es de aproximadamente 80°C durante 30 minutos, tiempo en que se visualizan vapores blancos en el interior del balón de destilación. Esta técnica es específica y selectiva ya que las demás impurezas son retenidas en el balón (I-131, I-132 y Te-132)

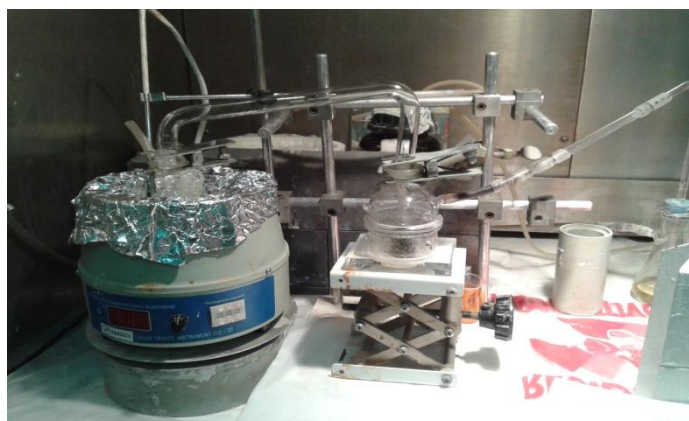
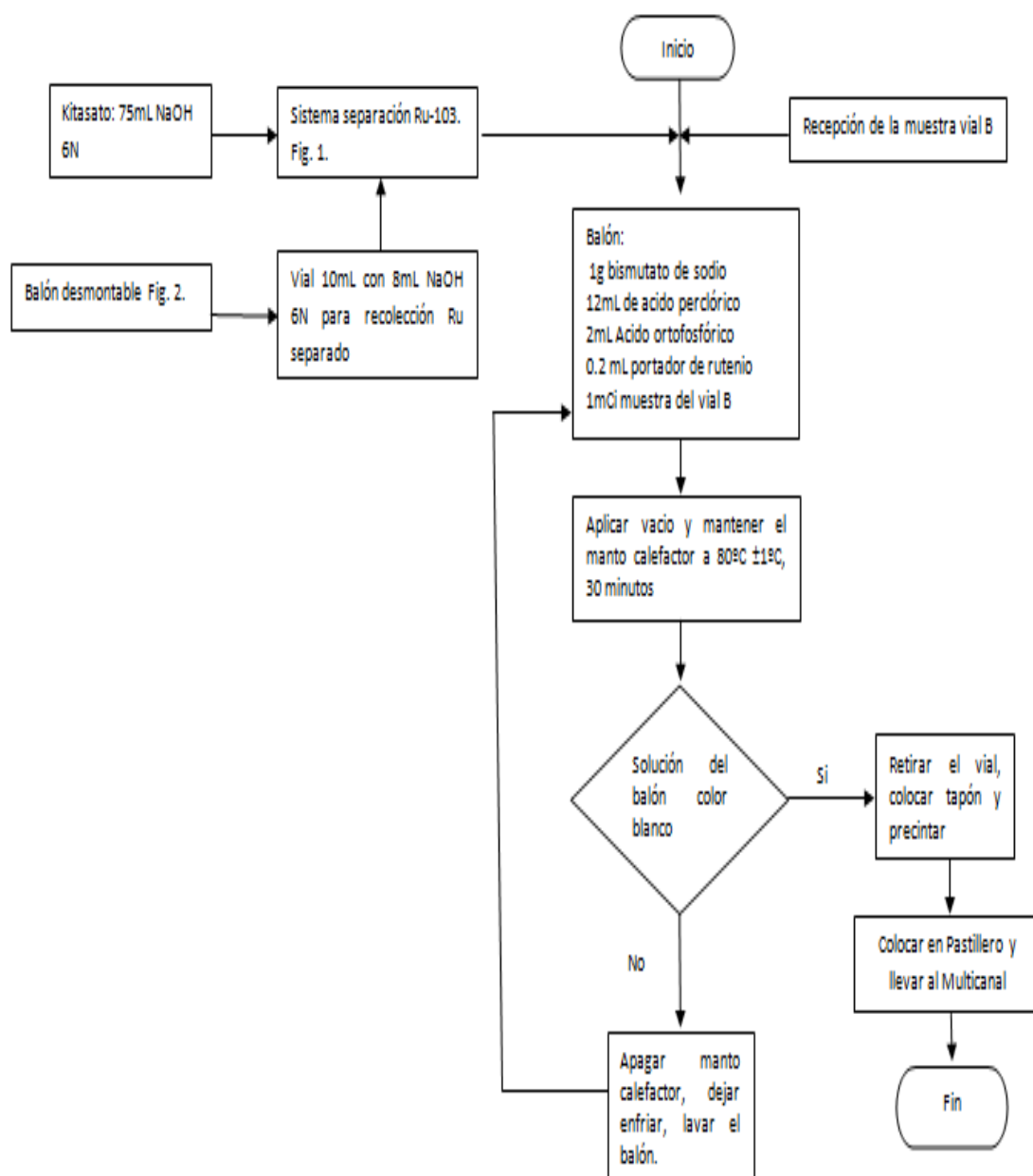


Figura 1. Equipo de destilación.

Diagrama 1. Separación de Ru-103 de la muestra de Mo-99.



Finalmente, el Ru-103 es colectado como el complejo RuO_4^{-2} en un vial conteniendo 8 mL NaOH 6 N. El vial está contenido en el interior de un balón desmontable o fraccionado (ver figura 2).

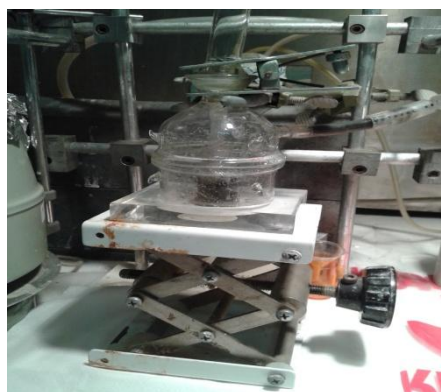


Figura 2. Balón desmontable.

En la destilación del rutenio se aprovecha la propiedad física del RuO_4^{-2} , el cual comienza a volatilizar a los 45 °C y finaliza a los 110°C. La temperatura óptima de trabajo es de 80°C. Durante el proceso se utiliza un termómetro calibrado para verificar que la temperatura indicada por el display del manto calefactor es la correcta. El color del destilado amarillento-anaranjado permite una clara visualización característica del rutenio.

Durante los diferentes procesos se hizo evidente que todos los reactivos deben ser grado analítico con porcentajes de pureza $\geq 99\%$ en especial el bismutato de sodio y el Cloruro de rutenio (III) RuCl_3

Antes de iniciar el proceso de destilación el técnico debe revisar el sistema de destilación, verificando la correcta conexión entre las piezas de vidrio y que el vacío aplicado sea en un nivel medio para que no se presenten salpicaduras de la muestra, lo cual llevaría a contaminaciones de la campana.

4.2 Separación de I-131 de Molibdeno-99

Para la separación del yodo se utiliza una columna separativa hecha con plata metálica esponjosa (Ag^0). Los diagramas 2 y 3 resumen el proceso de fabricación y aplicación de la muestra radioactiva.

Diagrama 2. Preparación de la Columna.

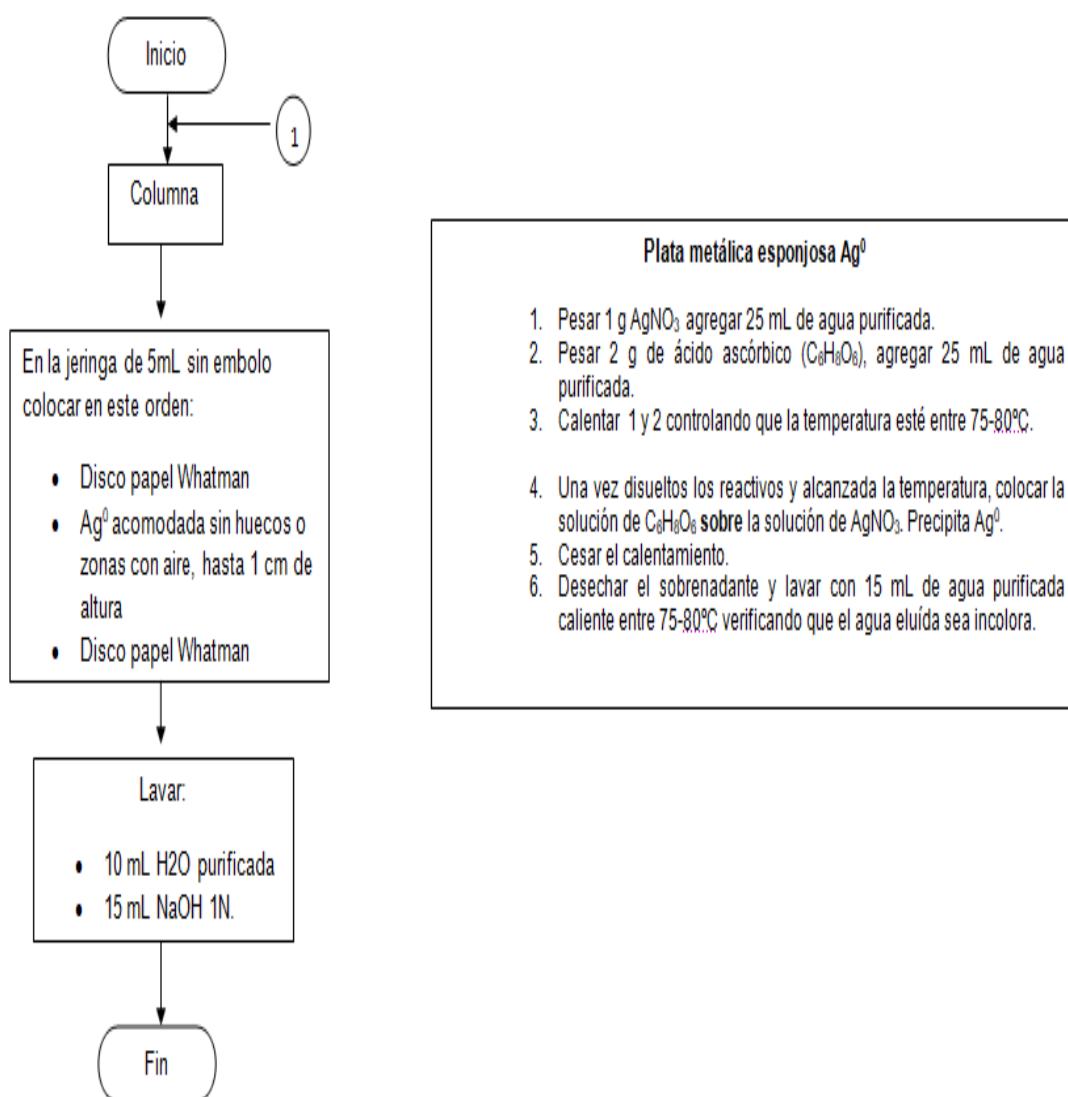
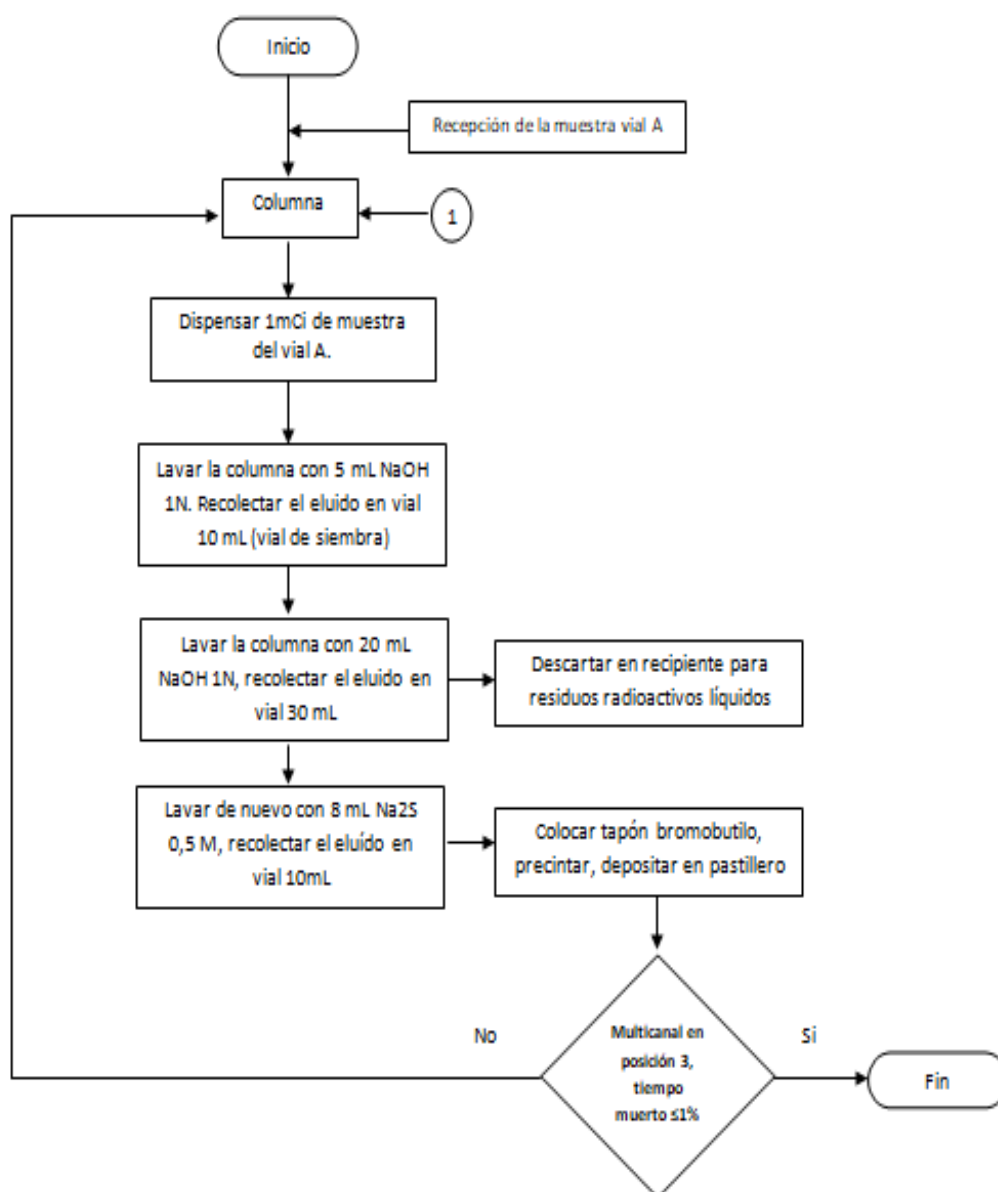


Diagrama 3. Separación de I-131 en la muestra de Mo-99



Cada técnico fue capacitado para reconocer cómo debe quedar la plata metálica esponjosa al momento de su preparación, empaque de la misma en la jeringa descartable (actúa como columna) y la velocidad de flujo óptima del eluido. Estos parámetros son determinantes al momento de realizarse la separación, si la columna es muy compacta retrasa el tiempo en la velocidad del eluido lo cual genera acumulación de muestras para ser medidas en el equipo de detección Gamma. Y si la columna presenta muchas grietas, la fase móvil pasa muy rápido y no hay tiempo suficiente para que se genere la separación.

Después de probar con diferentes proveedores para el nitrato de Plata, los mejores resultados fueron dados con AgNO_3 pureza 99.9%.

Debido a que la cantidad de muestra activa usada en ambas separaciones debe ser 1mCi, fue acordado con el personal de producción que la cantidad de actividad contenida en los viales A y B usados para realizar los controles, contengan como máximo 10mCi. De esta forma los técnicos pueden realizar diluciones de ser necesarias y la exposición a la actividad medida en manos, será minimizada.

Cabe aclarar que todo el personal trabaja siempre siguiendo todas las medidas de radioprotección establecidas para el área controlada, de igual forma todo el equipamiento usado es medido por el oficial de radioprotección después de ser lavado hasta detección de la mínima actividad permitida. Este control se hace extensivo a la campana radioquímica y superficie de mesadas, así se evita la medición de actividad extra en los equipos de medición.

4.3 Identificación y cuantificación del Ru-103 y I-131.

Las muestras obtenidas en las separaciones, diagramas 1 y 3 son llevadas a medir por separado en el equipo de detección Gamma. Cada medición tiene una duración de 5000 segundos, tiempo necesario para que sean detectadas las energías de cada radionucleído presente.

El detector posee cuatro posiciones de medida, siendo la primera la más cercana al detector (denominada posición 3).

Teniendo en cuenta la baja actividad de la muestra y que los radionucleídos de interés se encuentran en fracciones de trazas, las medidas deben realizarse en la mínima posición del detector y como parámetro condicionante, deben presentar un tiempo muerto $\leq 1\%$. Si este tiempo diera un valor mayor, es indicativo de que la separación no ha sido efectiva ya que puede haber presencia de otros elementos como el Mo-99.

El detector de Germanio Hiperpuro es calibrado anualmente y verificado semanalmente usando una fuente sellada puntual, de actividad y valor de incertidumbre conocida formada por Eu-154 y Ba-133 (N° 3990 Anexo 3).

En las determinaciones rutinarias del equipo, la geometría de las muestras a medir es una gota, por ello se usa una fuente puntual para la calibración y verificación del equipo.

Esta fuente fue elaborada y certificada por el laboratorio Metrología de Radioisótopos (LMR), siguiendo los estándares establecidos a nivel nacional e internacional para su fabricación.

La determinación de los radionucleídos presentes en las muestras requiere una rigurosa preparación del sistema de espectrometría. Por ello es necesario conocer con precisión la respuesta que ofrece el detector en función de la energía de la radiación y el tipo de muestra.

Para ello cuando el equipo fue instalado por primera vez, se tuvieron en cuenta las siguientes características operativas:

1. **Calibración en energía.** Consiste en obtener la relación entre la energía depositada y el canal del espectro, lo que permite determinar la energía de las emisiones detectadas, de donde se deducen los radionucleídos presentes en las muestras.

2. **Resolución del detector.** Es la anchura de los fotopicos en el espectro. Permite conocer la capacidad del sistema para distinguir emisiones de distinta energía.

3. **Calibración en eficiencia.** Consiste en obtener la relación entre la tasa de emisión de la muestra y la tasa de detección del detector, cuyo conocimiento permite determinar la actividad de las muestras a partir del número de detecciones de fotopico.

4. **Fondo ambiental.** Es la detección de radiación ajena a la muestra, a fin de evaluar posibles interferencias y restarlas de la medida de la misma.

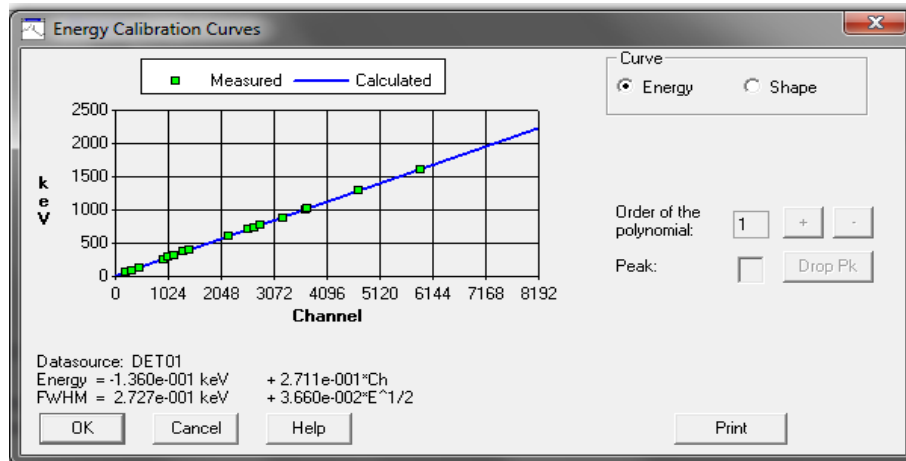
5. **Límites de detección.** Se determina la mínima actividad que puede detectarse en las muestras con una determinada probabilidad, mediante este sistema.

El detector de Germanio Hiperpuro identificado como ECC001, de alta y baja energía, modelo: BE2020, marca Canberra unidad de medida: Kev. Rango: 5,9 – 1332 Kev. Es calibrado una vez al año en energía y eficiencia usando la fuente de ¹⁵⁴Europio-¹³³Bario. Se usan estos dos radioelementos para cubrir el rango de calibración en la región de bajas y altas energías.

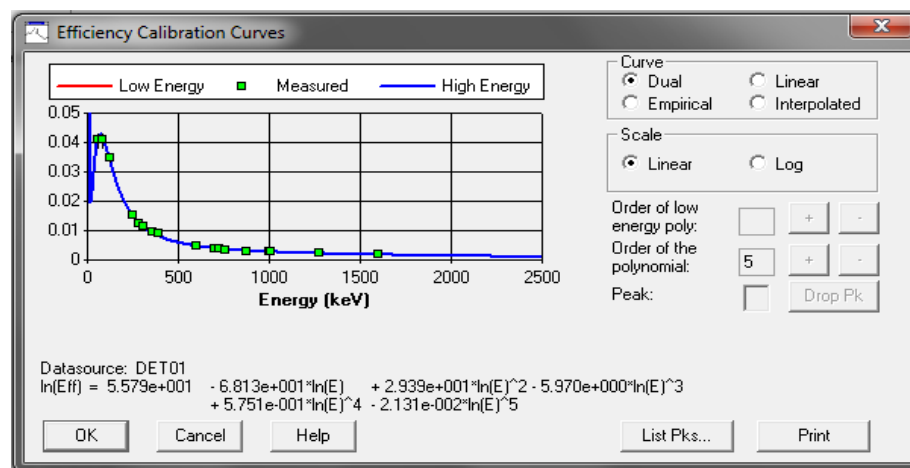
Para ello se posiciona la fuente patrón en la ubicación específica, se establece un tiempo de medición (5000s) y determina la eficiencia para cada fotopico. (Anexo 2) ⁽²⁾

Producto de esta calibración se obtienen las siguientes curvas:

Calibración en energías



Calibración en eficiencia.



Debido a que la calibración en energía del detector cambia con el tiempo en consecuencia de la inestabilidad de los dispositivos electrónicos propios del sistema de espectrometría, se realiza una verificación semanal del equipo, usando la fuente de Eu-154Ba-133, determinando los fotopicos y comparándolos con las energías y actividades encontradas en la calibración original: ^{133}Ba : $3.27 \times 10^{-1} \mu\text{Ci}$ y ^{154}Eu : $6.05 \times 10^{-1} \mu\text{Ci}$.

Los resultados de estas verificaciones son consignados en una carta control. En ella se puede observar si se presenta alguna desviación en los valores teniendo en cuenta el periodo de decaimiento (días) y la actividad de referencia (μCi) para el Europio y el Bario.

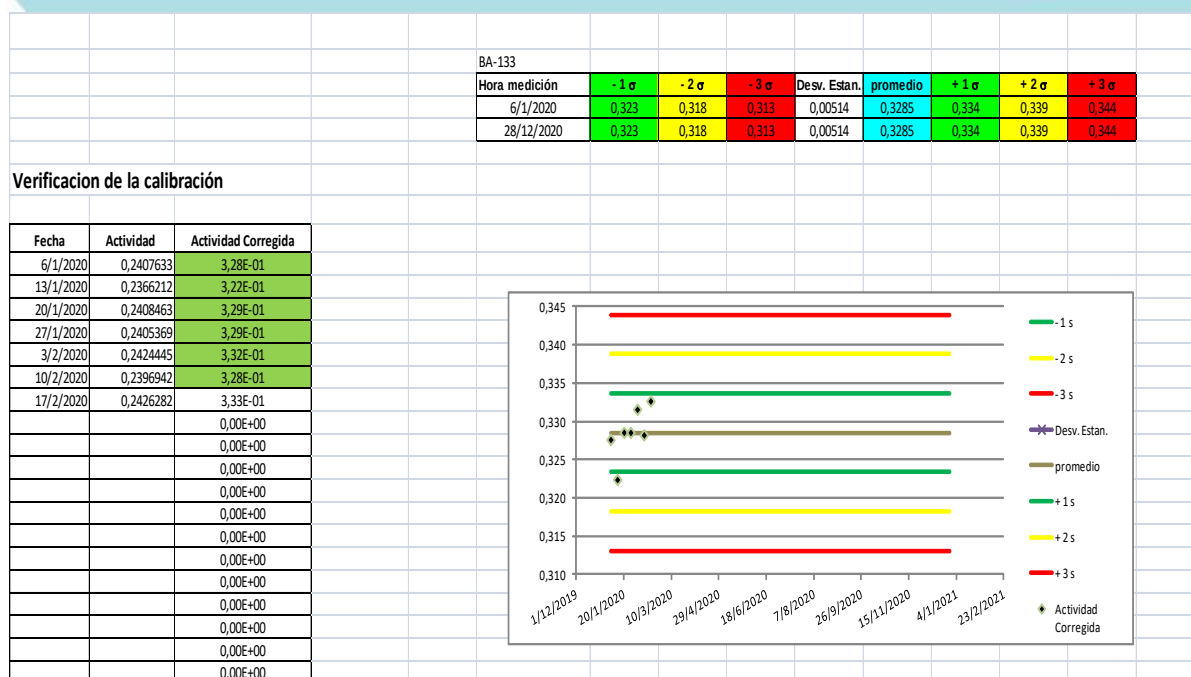


Figura .Carta control Ba-133.

La determinación de la actividad de las muestras se efectúa mediante el programa de análisis de espectros *Gamma Acquisition and Analysis*, versión 3.3, perteneciente al paquete informático GENIE 2000. El análisis de los espectros se efectúa ejecutando una secuencia de análisis programada previamente, que consta de una serie de pasos consecutivos, en concreto:

1. Localización de picos.
2. Determinación de áreas.
3. Corrección de fondo.
4. Corrección por eficiencia.
5. Cálculo de actividades, incertidumbres y límites de detección.
6. Generación del informe.

Debido a que el detector es calibrado con una fuente puntual pero las mediciones obtenidas de la destilación y la columna se encuentran contenidas en viales de 10mL en un volumen de 8 mL se hizo necesario hacer una corrección por geometría en la actividad obtenida.

Para determinar cuánto deber ser la corrección, se hizo el siguiente análisis usando un patrón de Ru-103 INF 049/16 (actividad 46,7 +/- 2,1 kBq) preparado por la irradiación de óxido de rutenio, preservado en medio ácido.

- Las muestras preparadas fueron asignadas como; I, II, III y IV.
- En cada vial se dispensó 2 μ l del patrón, luego fueron medidas en el equipo germanio hiperpuro ECC-001.

- Seguidamente a cada muestra puntual (2 μ l) se le adicionó 8 ml de NaOH 6 N (igual volumen e igual eluyente como se destila la impureza en el método rutinario).
- Luego fueron medidas en el mismo equipo.

Realizando los cálculos correspondientes se concluyó que el cambio de medición de puntual a medición en volumen (diferente geometría) genera una corrección por geometría en un 17%.

Muestra Ru-103	Actividad muestra Ru-103 Patrón (puntual) dispensada vial (μ Ci)	Actividad muestra Ru-103 patrón dispensada + 8 ml NaOH 6 N (μ Ci)	Corrección por geometría %
I	1,290 E-3 $\pm$ 4,936 E-5	1,008 E-3 $\pm$ 3,978 E-5	22
II	1,157 E-3 $\pm$ 4,347 E-5	0,973 E-3 $\pm$ 3,628 E-5	16
III	1,231 E-3 $\pm$ 4,701 E-5	1,026 E-3 $\pm$ 3,864 E-5	17
IV	1,294 E-3 $\pm$ 4,901 E-5	1,126 E-3 $\pm$ 4,351 E-5	13
Promedio De la corrección por geometría	1,243 E-3 $\pm$ 4,721 E-5	1,033 E-3 $\pm$ 3,955 E-5	17 %

Prueba de corrección por geometría: solución de NaOH 6N en un volumen de 8 ml como solución colectora (Tomado de PUMAR. I. Validación del método de Separación del Ru-103 de muestras de Mo-99. Instituto Dan Beninson. UNSAM. 2017)

Según la Farmacopea Europea la relación de actividades $^{103}\text{Ru}/^{99}\text{Mo}$ y $^{131}\text{I}/^{99}\text{Mo}$ debe ser $\leq 5 \times 10^{-3} \%$ para estas impurezas ⁽⁷⁾.

A continuación se presentan algunos resultados obtenidos en diferentes lotes de Mo-99, los cuales muestran que los valores están dentro de las especificaciones.



Molibdato de Sodio Mo-99 producto a Granel año 2018

Ru-103
cuantificable
MDA

Lote	W-187		Ru-103		I-131	
	(μCi)	W-187/Mo-99 (μCi)	(μCi)	Ru-103/Mo-99 (%)	(μCi)	I-131/Mo-99 (%)
1	6,84E-03	3,94E-04	1,97E-03	1,55E-03	3,12E-04	2,65E -07
2	6,75E-03	3,66E-04	1,19E-03	1,34E-03	2,64E-04	2,64E -06
3	1,56E-02	3,86E-04	2,22E-04	1,66E-04	1,84E-04	1,45E-07
4	1,39E-02	7,48E-04	1,81E-04	1,01E-07	1,28E-04	1,36E-07
5	5,10E-03	4,73E-04	9,31E-05	7,85E-08	1,20E-04	1,16E-07
6	1,81E-02	6,81E-04	5,26E-04	4,32E-07	7,59E-04	5,02E-07
7	6,50E-03	3,33E-04	1,04E-04	1,14E-07	1,86E-04	1,70E-07
8	9,02E-03	6,36E-04	8,86E-05	9,42E-08	2,05E-04	1,85E-07
9	7,95E-03	2,76E-04	6,83E-05	6,56E-08	1,22E-04	1,11E-07
10	4,50E-03	5,38E-04	7,13E-05	6,50E-08	2,18E-04	1,97E-07
11	5,70E-03	3,98E-04	5,25E-04	4,47E-07	1,14E-04	7,92E-08

Molibdato de Sodio Mo-99 producto a Granel año 2019

Lote	W-187		Ru-103		I-131	
	(μCi)	W-187/Mo-99 (μCi)	(μCi)	Ru-103/Mo-99 (%)	(μCi)	I-131/Mo-99 (%)
1	1,08E-02	4,68E-04	9,05E-05	7,27E-08	6,97E-05	5,68E-08
2	1,50E-02	3,65E-04	6,25E-05	4,61E-08	1,32E-04	9,62E-08
3	9,88E-03	5,35E-04	7,48E-05	5,28E-08	6,48E-05	5,37E-08
4	7,66E-03	6,92E-04	5,34E-04	4,38E-07	9,86E-05	1,06E-07
5	5,83E-03	4,14E-04	1,26E-04	1,15E-07	2,36E-04	1,89E-07
6	1,74E-02	5,50E-04	1,65E-04	8,08E-04	9,81E-05	1,00E-05
7	5,09E-03	4,72E-04	1,17E-04	9,49E-06	1,69E-04	1,62E-05
8	6,51E-04	1,19E-04	5,14E-15	1,10E-05	1,08E-04	3,62E-05
9	7,81E-03	7,00E-04	1,31E-04	1,21E-05	6,92E-05	6,28E-06
10	7,95E-03	7,08E-04	1,65E-04	1,42E-05	1,14E-04	1,08E-05
11	1,20E-02	5,15E-04	1,12E-04	1,05E-05	7,70E-05	8,03E-06

5. CONCLUSION

El método de separación radioquímica usado en los laboratorios de Control de Calidad de la Planta de producción de Radioisótopos para la separación de Ru-103 y I-131 de muestras de molibdeno-99 producto de fisión, ha sido una técnica desarrollada por personal de la institución, perfeccionada en los últimos años hasta su validación en el año 2017. Se han evaluado los diferentes factores que influyen directa e indirectamente en la obtención de un proceso de separación exitoso.

Se considera exitoso ya que puede ser identificado y cuantificado a nivel de trazas este tipo de impurezas usando espectrometría Gamma, determinando valores que están dentro de las especificaciones dictaminadas por organismos internacionales (Farmacopea Europea) para los niveles máximos de la relación de impurezas frente a la actividad del molibdeno $\leq 5 \times 10^{-3} \%$ para $^{103}\text{Ru}/^{99}\text{Mo}$ y $^{131}\text{I}/^{99}\text{Mo}$.

Como este molibdeno analizado es el precursor para la producción de generadores Mo-99/ Tc-99m, el hecho que sus impurezas no superen los máximos permitidos, deriva en un generador apto para el uso en humanos.

El empleo de insumos de alta pureza, el uso de patrones certificados en la calibración y verificación del equipo (detector), la constante capacitación al personal involucrado y el registro continuo de todos los resultados (Registros analíticos, formularios de mantenimiento - limpieza de equipos y laboratorios, cartas control, protocolos de Calidad y liberados de producto), son las herramientas usadas por la División Control de Calidad para asegurar los resultados del proceso de separación.

Después de la validación del proceso surgió la idea de realizar la calibración del equipo multicanal detector de Germanio Hiperpuro, tanto en energía como en eficiencia usando una fuente volumétrica (permanente), así no se haría el ajuste por corrección en geometría al medir una muestra volumétrica. Actualmente se cuenta con una fuente líquida de ^{152}Eu - ^{133}Ba N°099-17 en medio ácido de actividad conocida con la cual se están realizando pruebas.

6. BIBLIOGRAFIA.

1. CNEA. www.argentina.gob.ar/cnea/cae. Laboratorios e instalaciones.
2. **PUMAR. I.** Validación del método de Separación del Ru-103 de muestras de Mo-99. Instituto Dan Beninson. UNSAM. 2017.
3. Julián Pérez Porto y María Merino. Publicado: 2012. Actualizado: 2012. Definicion.de: Definición de radiactividad (<https://definicion.de/radiactividad/>)
4. **BIMP.** www.bipm.org/en/CGPM/db/12/7/. Resolución 7 de la XII CGPM(1964).
5. Comisión Nacional de Energía Atómica Plan Estratégico 2015-2025.
6. ISO 80000-10. Cantidades y unidades, Física nuclear y Atómica. Copia controlada Gerencia de aplicaciones Nucleares CAE. Segunda edición 2019.
7. Farmacopea Europea 7 edición, 2011.Volumen 1, pág. 999-1000.



7. ANEXOS

ANEXO 1. Misión, Visión y objetivos de la Gestión de la Calidad 2015-2025.

ANEXO 2. Calibración del equipo de espectrometría gamma en eficiencia (Genie).

ANEXO 3. Certificado de calibración. Fuente puntual N° 3990 ^{154}Eu - ^{133}Ba .

Certificado de calibración. Fuente Líquida N° 099-17 ^{152}Eu - ^{133}Ba

ANEXO 1. Misión, Visión y objetivos de la Gestión de la Calidad 2015-2025.

Misión.

“Participar en la formulación y revisión periódica de la Política de la Calidad de la CNEA, instrumentando las acciones necesarias para que dicha política sea implementada en todos los sectores, propendiendo a la mejora continua”.

Visión.

“Lograr que el personal de la Institución, liderado por las autoridades, sea parte activa de la aplicación de la Política de la Calidad de CNEA”.

Objetivos.

Objetivo General 1: Lograr el compromiso de las jefaturas y del personal de la Institución con la Política de la Calidad.

Objetivo particular 1.1: Disponer, en todos los niveles de la organización, de objetivos de calidad alineados con la Política y con los presentes Objetivos Institucionales de la Calidad, y contar con responsables que coordinen su implementación.

Objetivo General 2: Contribuir a la implementación de sistemas de gestión de la calidad.

Objetivo particular 2.1: Disponer de sistemas de gestión de la calidad calificados, en los sectores que prestan servicios a proyectos, a terceros o que llevan a cabo actividades científicas, técnicas u operativas prioritarias.

Objetivo particular 2.2: Disponer de diagnósticos, autoevaluaciones y auditorías internas en los sectores que tengan sistemas de gestión de la calidad.

Objetivo General 3: Fortalecer la red de Calidad de CNEA y sus interacciones con organismos externos en la materia.

Objetivo particular 3.1: Mantener y mejorar la capacidad de la red para realizar intercambios de información, experiencias y otras colaboraciones entre los participantes.

Objetivo particular 3.2: Fomentar y participar en programas de capacitación internos y externos a la organización, en los aspectos referidos a la temática de calidad.

Objetivo particular 3.3: Mantener y mejorar la participación en los organismos rectores en materia de calidad y con organizaciones del área nuclear en temas de calidad.

Objetivo General 4: Mantener y mejorar el funcionamiento del Comité de Calificación de Laboratorios e Instalaciones – COCALIN.

Objetivo particular 4.1: Asegurar la disponibilidad de auditores, evaluadores y expertos técnicos para realizar las auditorías internas y evaluaciones de gestión de la calidad.

Objetivo particular 4.2: Elaborar e implementar un plan de calificación a todos los sectores que tengan sistemas de gestión de la calidad y recalificar periódicamente los sectores que no tengan una certificación o acreditación.

Objetivo General 5: Fortalecer el funcionamiento del Comité de Gestión de Interlaboratorios de CNEA – INTERLAB.

Objetivo particular 5.1: Establecer e implementar programas de interlaboratorios que cubran las necesidades y prioridades institucionales en la materia.

Objetivo General 6: Contribuir a la confiabilidad metrológica en las actividades de los laboratorios e instalaciones en CNEA.

Objetivo particular 6.1: Mantener y ampliar la oferta de servicios de calibración.

Objetivo particular 6.2: Calificar y/o lograr la acreditación de todos los laboratorios de CNEA que presten servicios de calibración. (1)

ANEXO 2. Calibración del equipo de espectrometría gamma en eficiencia (Genie).

El equipo de espectrometría gamma se calibra en eficiencia empleando una fuente patrón de actividad e incertidumbre conocida, fuente puntual de Europio-Bario. Para ello se posiciona la fuente patrón en la ubicación específica, se establece un tiempo de medición T y determina la eficiencia para cada fotopico el cual lo realiza haciendo una relación entre el área neta del fotopico para una energía de emisión en relación con la actividad de referencia de la fuente. La eficiencia de detección de pico a una energía dada se define como:

$$\varepsilon(E) = \frac{S}{T \cdot y \cdot A \cdot K_w \cdot U_f} \quad (1)$$

Donde (1)

$\varepsilon(E)$ es la eficiencia para la energía E ,

S es el área neta para el pico de calibración

T es el tiempo vivo de la medición,

y es la probabilidad de emisión del nucleído de calibración a la energía E ,

A es la actividad de la fuente a la fecha de referencia de la fuente

U_f es el factor de conversión requerido para llevar a las unidades requeridas a

Bq (si corresponde)

K_w (2) es el factor de corrección por decaimiento para corregir la actividad A a la actividad al tiempo de comienzo de la adquisición, es decir:

$$K_w = e^{-\frac{\ln(2) T_w}{T_{1/2}}} \quad (2)$$

Donde

T_w es el tiempo de decaimiento de la fuente de calibración, es el lapso de tiempo desde la fecha de referencia de la fuente hasta el tiempo de inicio de adquisición.

$T_{1/2}$ es la vida media del nucleído de calibración.

La máxima eficacia se debe calcular para un conjunto bien definido de los picos individuales con una fuente estándar de la misma geometría como se espera de las muestras reales. Además, los picos deben cubrir el rango de energía de todo el interés.

Luego de realizar el cálculo de eficiencia para cada fotopico, la eficiencia como una función de la energía E se puede representar de diferentes maneras. La forma elegida para este método se describe por una función polinómica de la forma:

$$\ln(\varepsilon) = \sum_{i=0}^n b_i \cdot (\ln(E))^i \quad (3)$$

Donde la fórmula (3) refiere a:

b_i : coeficiente a determinar para el cálculo

ε : eficiencia en el fotopico de energía E y

E : energía del fotopico

Este modelo se llama la doble función, ya que dos modelos separados son compatibles;

1. Dos curvas: uno para la región de bajas energías y otro para altas energías, región - con un solo "crossover" punto común a ambos
2. Una sola curva (un cruce de cero).





Comisión Nacional de Energía Atómica
Ministerio de Planificación Federal
Inversión Pública y Servicios

OAA

Organismo
Argentino de
Acreditación

Laboratorio de Calibración
LC 014

F003/15

HOJA 1 DE 2

EZEIZA, 8 de Abril de 2015

DESTINATARIO: Maricel Pirchio
 Planta de Producción de Radioisótopos
 Comisión Nacional de Energía Atómica

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Fuente Puntual de $^{133}\text{Ba}/^{154}\text{Eu}$
Nº 39-90

^{133}Ba	$12,1 \pm 0,4 \text{ kBq}$
^{154}Eu	$22,4 \pm 0,5 \text{ kBq}$

Fecha de referencia: 30/04/2015

La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de medición por el factor de cobertura $k = 2$ que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%. La incertidumbre estándar de la medición se ha determinado conforme a la norma IRAM 35051: vigente.

Fecha de calibración: 30/03/2015

Responsable de la calibración: Lic. Gabriela Cerutti


 Lic. GABRIELA L. CERUTTI
 Jefe División
 Metrología Aplicada

Este certificado no debe reproducirse en forma parcial sin previa autorización escrita del Jefe del Laboratorio Metrología de Radioisótopos.

Laboratorio Metrología de Radioisótopos. Centro Atómico Ezeiza. Presbítero Juan González y Aragón Nº 15 (B1802AYA).
 Partido de Ezeiza. Pcia. de Buenos Aires. Tel / Fax: (011) 4125-8408. e-mail: cerutti@cae.cnea.gov.ar
 Página 1 de 2



Comisión Nacional de Energía Atómica
Ministerio de Planificación Federal
Inversión Pública y Servicios

OAA✓

Organismo
Argentino de
Acreditación

Laboratorio de Calibración
LC 014

F003/15

HOJA 2 DE 2

Descripción de la fuente

Fuente puntual centrada y sellada entre dos discos de Mylar de 12 μm de espesor cada uno, enmarcados en aros de aluminio de 30 mm de diámetro y 3 mm de altura. La fuente lleva una inscripción identificatoria sellada.

Método de Calibración:

Comparación con patrones de los mismos radionucleídos, trazables al Bureau International des Poids et Mesures – Francia y al National Institute of Standards and Technology – USA, empleando espectrometría gamma de alta resolución (DD-14QM-07 Calibración de fuentes puntuales de emisores gamma con detector de Germanio Hiperpuro). Patrones utilizados: 463 (^{133}Ba) y 548-170-02 (^{154}Eu).

Mantenimiento y resguardo

Se recomienda manipular la fuente por el aro metálico evitando tocar la superficie de Mylar, especialmente con elementos punzantes o abrasivos.

Lic. GABRIELA L. CERUTTI
Jefe División
Metrología Aplicada

*Comisión Nacional de Energía Atómica***F019/18**

EZEIZA, 14 de Noviembre de 2018

DESTINATARIO: Farm. Maricel Pirchio
Control de calidad
Planta de Producción de Radioisótopos
Comisión Nacional de Energía Atómica

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Fuente Líquida de $^{133}\text{Ba}/^{152}\text{Eu}$
N° 099-17

Actividad:

^{133}Ba	$86,5 \pm 4,8 \text{ kBq}$
^{152}Eu	$53,0 \pm 2,9 \text{ kBq}$

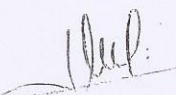
Fecha de Referencia: 12/09/2018

Masa: 8,05446 g

La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de medición por el factor de cobertura $k = 2$ que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%. La incertidumbre estándar de la medición se ha determinado conforme a la norma IRAM 35051.

Fecha de calibración: 12 de Septiembre de 2018

Responsable de la calibración: Lic. Gabriela Cerutti


Lic. GABRIELA L. CERUTTI
Jefe División
Metrología Aplicada

Este certificado no debe reproducirse en forma parcial sin previa autorización escrita del Jefe del Laboratorio Metrología de Radioisótopos.

LMR. Centro Atómico Ezeiza. Presbítero Juan González y Aragón N° 15 (B1802AYA). Partido de Ezeiza. Pcia. de Buenos Aires.
Tel: (011) 4125-8683 e-mail: cerutti@cae.cnea.gov.ar

*Comisión Nacional de Energía Atómica***F019/18**Descripción de la fuente

Composición de la solución: 18 mg $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ / 500 ml HCl 0,1 N

El patrón se halla envasado en un vial de vidrio tipo penicilina, sellado con tapón y virola, de 10ml de capacidad.

Método de Calibración:

Determinación de actividad con una curva de eficiencia confeccionada con patrón 55-18 del LMR, trazable al Sistema Internacional de Unidades a través del Physikalisch – Technische Bundesanstalt – Alemania, empleando espectrometría gamma de alta resolución (DD-14QM-07 Calibración de fuentes puntuales de emisores gamma con detector de Germanio Hiperpuro).

Mantenimiento y resguardo

No obstante la aprobación del control de calidad, se recomienda manipular el patrón con el mayor cuidado posible y siempre en posición vertical con la tapa hacia arriba para evitar posibles pérdidas por la misma.


Lic. GABRIELA L. CERUTTI
Jefe División
Metrología Aplicada