PRÓLOGO

La Autoridad Regulatoria Nuclear cuenta con laboratorios especializados de apoyo a su función regulatoria en materia de seguridad radiológica y nuclear, salvaguardias y protección física que ocupan una superficie aproximada de 2950 m^2 en el Centro Atómico Ezeiza.

El presente Manual describe en siete capítulos las diferentes técnicas desarrolladas y aplicadas en dichos laboratorios a lo largo de cuatro décadas de existencia.

El capítulo 1, dedicado al tratamiento de muestras ambientales, describe los procedimientos asociados a los diferentes tipos de muestras: depósitos, aguas, sedimentos, vegetales, leche, peces y dieta. El capítulo 2 detalla 48 técnicas radioquímicas asociados a la medición de americio 241, carbono 16, estroncio 90, yodo 129, plutonio, radio 226, radón, tritio, uranio, níquel y actínidos. El capítulo 3 describe las técnicas de medición por espectrometría α y γ. Las especificaciones del equipamientos asociado están contenidos en el capítulo siguiente. Las diferentes técnicas de dosimetría biológica y física se describen en los capítulos 5 y 6 respectivamente. El capítulo final está dedicado a los técnicos de descontaminación externa e interna.

Es importante destacar que este Manual contiene las técnicas estandarizadas que la ARN somete regularmente a intercomparaciones de carácter internacional.

En la redacción del presente Manual intervinieron durante 2001 los distintos grupos técnicos especializados de la ARN pertenecientes a la Gerencia de Apoyo Científico. Sin embargo, muchas de las técnicas actualmente estandarizadas, fueron posibles, como se dijo, gracias a los esfuerzos pioneros realizados desde la década de 1960. A todos ellos en conjunto debemos esta edición del Manual de Técnicas de Laboratorio.

Sector Información Técnica

CONTENIDO

Capítulo 1. TÉCNICAS DE MUESTREO AMBIENTAL 1

1. INTRODUCCIÓN 3
2. DEPÓSITO ATMOSFÉRICO 3
3. PARTÍCULAS EN AIRE 6
4. AGUAS 8
5. SEDIMENTOS 12
6. VEGETALES 13
7. LECHE 13
8. PECES 13
9. DIETA 14

Capítulo 2. LABORATORIOS RADIOQUÍMICOS 15

1. MEDICIÓN DE ACTIVIDAD ALFA TOTAL 17
   - 1.1. Medición de actividad alfa total en filtros de papel y de acetato de celulosa (AT-01) 17
   - 1.2. Medición de actividad alfa total en filtros de fibra de vidrio (AT-02) 21
   - 1.3. Medición de actividad alfa total en aguas (AT-03) 23
2. MEDICIÓN DE AMERICIO 27
   - 2.1. Determinación de Am 241 y Cm 244 en suelos (Am-01) 27
   - 2.2. Determinación de Am 241 y Cm 244 en vegetales (Am-02) 31
   - 2.3. Determinación de Am 241 y Cm 244 en filtros (Am-03) 33
   - 2.4. Determinación de Am 241 y Cm 244 en aguas (Am-04) 35
3. MEDICIÓN DE CARBONO 37
   - 3.1 Determinación de C 14 en aguas subterráneas y de superficie (^{14}C –01) 37
4. MEDICIÓN DE ESTRONCIO 90 41
   - 4.1. Determinación de Sr 90 en aguas ambientales (Sr-01) 41
   - 4.2. Determinación de Sr 90 en matrices sólidas (Sr-02) 45
   - 4.3. Determinación de Sr 90 en leche (Sr-03) 49
   - 4.4. Determinación de Sr 90 en filtros (Sr-04) 53
5. MEDICIÓN DE YODO 57
   - 5.1. Determinación de I 129 por activación neutrónica en agujas de conífera (I-01) 57
6. MEDICIÓN DE PLUTONIO 63
   - 6.1. Determinación de plutonio en aguas (Pu-01) 63
   - 6.2. Determinación de plutonio en filtros por espectrometría alfa (Pu-02) 67
   - 6.3. Determinación de plutonio en vegetales (Pu-03) 69
   - 6.4. Determinación de plutonio en suelos y sedimentos por espectrometría alfa (Pu-04) 71

7. MEDICIÓN DE RADIO 75

7.1. Determinación de radio 226 en aguas por emanación de radón 222 (Ra-01) 75
7.2. Determinación de radio 226 en suelos (Ra-02) 79

8. MEDICIÓN DE RADÓN 83

8.1. Determinación de radón en aire en forma instantánea (Rn-01) 83
8.2. Determinación de radón en aire por adsorción en carbón activado (Rn-02) 87
8.3. Determinación de radón en aire: Electret (Rn-03) 91
8.4. Medición de radón por el método de revelado de trazas nucleares: Electro Etching (Rn-04) 93
8.5. Determinación de la progenie de radón en aire (Rn-05) 95
8.6. Determinación de la tasa de emanación de radón en colas de minería de uranio (Rn-06) 101
8.7. Determinación de radón disuelto en agua: Electret (Rn-07) 103
8.8. Determinación de radón disuelto en agua: centelleo líquido (Rn-08) 107
8.9. Determinación de radón disuelto en agua: Método de Lucas (Rn-09) 109

9. MEDICIÓN DE TRITIO 111

9.1. Determinación de tritio en agua - Electrólisis Alcalina (^{3}H-01) 111
9.2. Determinación de tritio en agua por centelleo líquido (^{3}H-02) 115

10. MEDICIÓN DE URANIO 119

10.1. Determinación de uranio en agua por fluorimetría directa (U-01) 119
10.2. Determinación de uranio en aguas ambientales por fluorimetría (U-02) 123
10.3. Determinación de uranio por fluorimetría en filtros (U-03) 125
10.4. Determinación de uranio en suelos por fluorimetría (U-04) 127
10.5. Determinación de uranio en aguas por espectrometría alfa (U-05) 129
10.6. Determinación de uranio en filtros por espectrometría alfa (U-06) 133
10.7. Determinación de uranio en vegetales por espectrometría alfa (U-07) 135
10.8. Determinación de uranio en suelos y sedimentos por espectrometría alfa (U-08) 137
10.9. Determinación de uranio en orina por fluorimetría directa (U-09) 141
10.10. Determinación de bajos contenidos de uranio en orinas (U-10) 145

11. MEDICIÓN DE PLUTONIO, URANIO Y AMERICIO 147

11.1. Determinación de plutonio, uranio, americio y curio en suelos y sedimentos (M-01) 147
11.2. Determinación de plutonio, uranio, americio y curio en aguas (M-02) 151
11.3. Determinación de plutonio, uranio, americio y curio en filtros (M-03) 153
11.4. Determinación de plutonio, uranio, americio y curio en vegetales (M-04) 155

12. MEDICIÓN DE RADIO Y URANIO 157

12.1. Determinación de radio 226 y uranio en aguas (M-05) 157
12.2. Determinación de radio 226 y uranio en suelos (M-06) 159

13. MEDICIÓN DE CARBONO Y TRITIO 161

13.1. Determinación de C 14 y H 3 en efluentes gaseosos (M-07) 161

14. DETERMINACIÓN DE ACTÍNIDOS 165

14.1. Determinación de actínidos, Sr 90, H 3 y Ni 63 en muestras líquidas (M-08) 165

15. TÉCNICAS GENERALES 171

15.1. Electrodeposición de actínidos (G-01) 171
15.2. Utilización de trazadores radioquímicos (G-02) 173
15.3. Utilización de resinas de intercambio iónico (G-03) 175
15.4. Limpieza del material (G-04) 177

Capítulo 3. LABORATORIOS DE MEDICIONES 179

1. ESPECTOMETRÍA ALFA (ALFA-01) 181

1.1. Espectrometría alfa - instrumentación (Alfa- 01a) 183
1.2. Espectrometría alfa - calibración en energía (Alfa- 01b) 187

2. MEDICIÓN DE ACTIVIDAD ALFA TOTAL POR CENTELLEO SÓLIDO CON ZnS (Ag) (Alfa Total - 01) 189
3. CENTELLEO LÍQUIDO (Cl-01) 193
4. ESPECTROMETRÍA GAMMA (GAMMA-01) 195
5. CONTADOR DE TODO EL CUERPO (CTC-01) 201

Capítulo 4. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPAMIENTO 209

1. VIAL DE CENTELLEO CON CÁNULA PARA Ra 226 211
2. COLUMNAS DE VIDRIO PARA INTERCAMBIO IÓNICO 211
3. FRASCO DE CENTELLEO - MÉTODO DE LUCAS 212
4. EQUIPO LUDLUM 2200 212
5. DISPOSITIVO UTILIZADO PARA MEDIR LA CONCENTRACIÓN DE RADÓN EN AIRE 213
6. SISTEMA E-PERM PARA MEDICIÓN DE RADÓN: ELECTRET 213
7. SISTEMA PARA MEDICIÓN DE RADÓN EN AGUA: ELECTRET 215
8. MONITORES DE RADÓN CON DETECTORES DE MAKROFOL Y DISPOSITIVOS ASOCIADOS 216
9. BOMBAS PARR 217
10. CELDAS PARA ELECTRODEPOSICIÓN 218
11. HORNO DE FUSIÓN PARA FLUORIMETRÍA 218
12. EQUIPO DE CENTELLEO LÍQUIDO: PACKARD TRI-CARB 2770 TR/SL 219
13. EQUIPO DE CENTELLEO LÍQUIDO: PACKARD TRI-CARB 2550 TR/SL 220
14. EQUIPO DE CENTELLEO LÍQUIDO: PACKARD TRI-CARB 2550 TR/AB 221
15. DETECTOR DE GERMANIO HIPERPURO 221
16. CELDAS ELECTROLÍTICAS PARA TRITIO 222
17. EQUIPO MUESTREADOR O´VERHOFF (MODIFICADO) 223
18. SISTEMA DESTILADOR DE MUESTRAS PARA C 14 223
19. EQUIPO 1 UTILIZADO EN EL PROCEDIMIENTO I-01 224
20. EQUIPO 2 UTILIZADO EN EL PROCEDIMIENTO I-01 225
21. EQUIPO REFRIGERANTE LAUDA RM 6B 225

Capítulo 5. LABORATORIOS DE DOSIMETRÍA BIOLÓGICA 227

1. EVALUACIÓN POR DOSIMETRÍA BIOLÓGICA Dicéntricos y anillos (DB – 01) 229

2. EVALUACIÓN POR DOSIMETRÍA BIOLÓGICA
Micronúcleos en linfocitos con bloqueo de la citocinesis (DB-02) 233

3. EVALUACIÓN POR DOSIMETRÍA BIOLÓGICA
Translocaciones e inversiones (DB-03) 235

3.1. Técnica de Bandeo G 236
3.2. Técnica de hibridación in situ por fluorescencia (FISH) 236

4. EVALUACIÓN POR DOSIMETRÍA BIOLÓGICA
Ensayo de Cometa (Electroforesis en gel de células individuales) (DB-04) 239

Capítulo 6. LABORATORIOS DE DOSIMETRÍA FÍSICA 245

1. PROCEDIMIENTOS PARA LA LECTURA DE DOSÍMETROS TERMOLUMINISCENTES CON EL EQUIPO HARSHAW 3500 247

2. TRATAMIENTOS TÉRMICOS APLICADOS A LOS DOSÍMETROS TERMOLUMINISCENTES 251

3. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE SENSIBILIDAD DE LOS DOSÍMETROS TERMOLUMINISCENTES (TLD) 253

4. PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA DOSIS EQUIVALENTE PERSONAL GAMMA 255

5. PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA DOSIS EQUIVALENTE PERSONAL EN CAMPOS MIXTOS 257

6. PROCEDIMIENTO PARA LA IRRADIACIÓN DE DETECTORES PERSONALES EN CAMPO DE NEUTRONES Y LA OBTENCIÓN DEL FACTOR DE CALIBRACIÓN 259

7. PROCEDIMIENTO PARA EL ARMADO Y EVALUACIÓN DE DOSÍMETROS DE CONTROL Y CONTENCIÓN DE MATERIAL NUCLEAR 261

8. INSTRUCCIÓN PARA LA MEDICIÓN DE ESPECTROS DE NEUTRONES EN PROTECCIÓN RADIOLÓGICA 263

9. INSTRUCCIONES PARA LA DETERMINACIÓN DE DOSIS NEUTRÓNICA MEDIANTE EL SISTEMA ESPECTROMÉTRICO DE ESFERAS BONNER 266

ANEXO I 271

Capítulo 7. PROCEDIMIENTO PARA EL TRATAMIENTO DE PERSONAS ACCIDENTALMENTE SOBREEXPUESTAS 275

1. CONTAMINACIÓN EXTERNA 277

1.1. Introducción 278
1.2. Consideraciones generales 279
1.3. Contaminación radiactiva externa 281
1.4. Procedimientos para la asistencia de personas contaminadas con material radiactivo 284
1.5. Secuencia de acciones en caso de contaminación externa sin lesión en piel 285
1.6. Tratamiento descontaminante 286

1.7. Descontaminación de cara 289
1.8. Descontaminación de cabellos 289
1.9. Descontaminación de ojos 290
1.10. Descontaminación de orofaringe 290
1.11. Tratamiento descontaminante bajo supervisión médica 291
1.12. Tratamiento descontaminante de heridas 293
1.13. Medidas de evacuación 298
ANEXO I. Preparación de soluciones descontaminantes 298

2. CONTAMINACIÓN INTERNA 305

2.1. Introducción 306
2.2. Etapas de la contaminación radiactiva interna 306
2.3. Elementos transferibles y no transferibles 307
2.4. Principios generales en el tratamiento de la contaminación interna 308
2.5. Conducta frente a una contaminación interna 309
2.6. Mediciones de actividad y análisis radiotoxicológicos 310
2.7. Tratamiento de la contaminación interna 311
2.8. Procedimientos descontaminantes 313
2.9. Criterios de intervención 318
ANEXO I. Fármacos utilizados para el tratamiento de la contaminación con distintos radionucleidos 319
ANEXO II. Información básica para el tratamiento de la contaminación radiactiva interna 329
ANEXO III. Administración de yodo estable en accidentes radiológicos 341

C A P Í T U L O 1

TÉCNICAS DE MUESTREO AMBIENTAL

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describen los procedimientos asociados a diferentes tipos de muestras ambientales: depósitos, aguas, sedimentos, vegetales, leche, peces y dieta. La tarea de muestreo conjuntamente con la preparación y análisis de la muestra e interpretación de los resultados obtenidos requiere un tratamiento específico asociado a cada caso.

Un muestreo representativo se basa en dos principios; el primero se basa en que “la muestra tomada del sistema tenga exactamente la misma composición química que el material original” y el segundo en que “la probabilidad de esta selección del total de la población sea igual para cada muestra”, lo cual es extremadamente dificultoso especialmente en muestras ambientales.

Con el objetivo de poner en práctica lo antedicho, algunas de las reglas prácticas básicas que se siguen cuidadosamente son las siguientes:

- Evitar la contaminación de la muestra.
- Tomar muestras razonablemente grandes.
- Evitar cualquier volatilización de componentes químicos y otras pérdidas de los elementos durante el transporte y almacenamiento.
- Tomar en cuenta las variaciones estacionales en la composición del material original y de otros parámetros que influyen en su composición (humedad, temperatura, etc.).

Se eligen preferentemente los procesos físicos simples, como secado, liofilizado, homogeneización, pulverización, mezclado y cortado de delgadas secciones. A continuación se da una descripción detallada de los sitios y procedimientos de muestreo incluyendo la metodología, etiquetado, preparación de los envases, preparación de blancos, almacenamiento y pretratamiento de las muestras.

2. DEPÓSITO ATMOSFÉRICO

El depósito de material radiactivo nos brinda una estimación del inventario de material radiactivo depositado en un área determinada. La concentración del depósito se expresa por unidad de área.

2a. DEPÓSITO TOTAL (SECO Y HÚMEDO)

La determinación de los distintos nucleidos en el depósito radiactivo (fallout) se realiza sobre el total del material recolectado en recipientes de pared alta. La recolección del depósito radiactivo es simple, pero la transferencia de todo el material recolectado debe ser realizada con gran cuidado para no perder material y para evitar que los recipientes recolectores puedan quedar contaminados para usos posteriores.

Recipiente colector

Se utilizan recipientes que consisten en una batería de ollas de gran volumen (100 L) conectados en cascada y un embudo de gran superficie de recolección (1 m^2). El punto de muestreo se ubica en un área abierta, de manera de no estar influido por los edificios o árboles. La distancia de los edificios más cercanos es mayor a 100 metros. Se mantiene en forma permanente un nivel de líquido (agua destilada) para evitar pérdida de muestra por resuspensión.

Tanto el depósito húmedo (agua de lluvia) recolectado durante el período de muestreo (tres meses) como el depósito de material seco se concentran por evaporación a baja temperatura, para evitar pérdidas por ebullición y se lleva a un volumen normalizado.

Procedimiento

1. Semanalmente se realiza el arrastre con agua del material seco depositado en el embudo de recolección, utilizando una piseta.
2. Mensualmente se recoge el total de la muestra colectada, previo lavado del embudo colector. Se concentra por evaporación el volumen recogido, y se lavan los bordes con una piseta que contiene agua destilada y con la ayuda de un "policeman". Utilizando HNO_3 1+1 se traspasa el concentrado a un recipiente más pequeño, para una mejor manipulación de la muestra en el laboratorio.
3. Las muestras retiradas mensualmente se integran en un "pool" trimestral. En la operación final es muy importante transferir todo el material sólido al envase de 100 mL para su posterior medición.
4. Se etiqueta la botella de polietileno de 100 mL normalizada, indicando el punto de muestreo, la fecha y datos específicos de la muestra, se coloca en una bolsa de polietileno, se sella y se envía los laboratorios de medición por espectrometría gamma.
5. Luego de su medición, la muestra se envía a los laboratorios radioquímicos para la determinación de Sr 90.

2b. DEPÓSITO RECIENTE

El área escogida debe estar libre de alteraciones externas en el período de interés, donde se estima el depósito radiactivo. Se escogen zonas sin pendientes, con arrastre normal. Se utilizan muestras de pasto que se recolectan en días posteriores a jornadas en las que no haya llovido, para evitar el “lavado” de los aerosoles. Se evita que el pasto toque el suelo para que no se contamine.

Procedimiento

1. Mensualmente se recoge la muestra, tomando una superficie aproximada de 30 x 30 cm.
2. Se corta con tijeras el pasto a 1 cm por encima del suelo, utilizando guantes descartables.
3. Se evita cortar en áreas donde haya material seco o muerto. Mientras se corta el pasto, se lo sostiene con la mano introduciendo el material en bolsas de plástico.
4. Se etiquetan las bolsas, indicando el punto de muestreo, la fecha, el peso y datos específicos de la muestra.
5. En un envase plástico 1 dm^3 de boca ancha, de geometría normalizada, previamente tarado y rotulado, se traspasa utilizando guantes descartables la muestra recogida, se pesa y se coloca en una bolsa de polietileno, se sella y se envía los laboratorios de medición por espectrometría gamma.

2c. DEPÓSITO ACUMULADO

Sabemos que con el tiempo los nucleidos inicialmente depositados en la superficie migrarán hacia capas profundas. La extensión actual de la penetración vertical dependerá primariamente del tipo de suelo, pero muchos otros factores están involucrados, tales como la cantidad de precipitación, la forma química del nucleido, etc. Se decidió tomar muestra hasta los 15 cm sobre la base de la experiencia acumulada y costos, dado que en esa franja se encuentra prácticamente la totalidad de los nucleidos buscados.

Características y reproducibilidad del sitio

El punto de muestreo se ubica en un área abierta, para eliminar la influencia de los edificios o árboles, que actuarían como indeseados filtros de material que normalmente se depositarían, además de producir una distribución no uniforme. Las características de la zona elegida corresponde a tierras no trabajadas, suelo no pedregoso, de moderada a buena permeabilidad, con una adecuada capacidad de intercambio y que posea cierta vegetación que evita el arrastre. En la elección del sitio se debe tener en cuenta la posibilidad de que hayan sido fertilizados o regados con sustancias que potencialmente agreguen material radiactivo al lugar (por ejemplo existen ciertos fertilizantes que contienen altas concentraciones de uranio). Es conveniente que el lugar escogido para la colección posea tierra negra y pasto. Se toma un espesor óptimo de capa (0-15 cm de profundidad) que asegura que el material depositado sea extraído. Se utiliza el método de trinchera, marcando la zona escogida y cavando con una pala de acero inoxidable de 10 x 10 x 2,5 cm de alto; ayudándose con una espátula para alisar los bordes expuestos y retirando los pedazos de la parte superior que se colocan en bolsas de polietileno, y se continúa la tarea hasta llegar a la profundidad deseada. Una vez concluida la tarea, la trinchera se vuelve a tapar y se marca para evitar futuros muestreos en el mismo punto.

Procedimiento

1. Mensualmente se recoge la muestra, cortando y desechando toda vegetación que exista por encima del suelo.
2. Se marca una superficie cuadrada de aproximadamente 20 cm de lado, y se excava usando una pala hasta 15 cm de profundidad.
3. La muestra se coloca en una bolsa de polietileno, se etiqueta indicando el punto de muestreo, la fecha, el peso y datos específicos de la muestra.
4. Se limpia la herramienta con agua y detergente y se seca antes de tomar la próxima muestra.
5. En el laboratorio la muestra se seca en estufa a 100°C durante aproximadamente 17 h (hasta que alcanza peso constante). Se retiran las piedras de diámetro mayor a 3 cm y las raíces que pudieran estar presentes.
6. Se procede a la molienda de la muestra hasta un tamaño adecuado para los requerimientos analíticos posteriores, se mezcla por 15-30 minutos. Finalmente se obtiene un polvo por tamizado a través de una malla de 100 mesh.
7. Se lleva a una geometría pote normalizada, previamente tarado, utilizando un envase plástico de boca ancha rotulado, de 70 mm de diámetro y 40 mm de alto, se pesa, se coloca en una bolsa de polietileno y se mide por espectrometría gamma.

2d. MÉTODO RÁPIDO PARA DEPÓSITO

Luego de una eliminación aguda de contaminante en un sitio especifico, la muestra de tierra de la superficie debe ser tomada lo antes posible, y su procesamiento, medición y análisis de los resul-

tados deben ser inmediatos. A partir de esta información podemos definir mejor los contornos de las áreas contaminadas o el perfil de distribución. La muestra tomada será de la capa superficial con una profundidad de 5 cm, y se incluirá la vegetación. De está manera se garantiza la representatividad y reproducibilidad de la muestra, ya que profundidades menores están sometidas a variables incontrolables, en especial si la vegetación de la superficie es profusa y posee abundantes raíces.

Este método también es útil cuando se requiere la medición por espectrometría gamma de radionucleidos de corta vida media.

El criterio para seleccionar los sitios de muestreo en estos casos depende de las condiciones de dispersión atmosférica y el conocimiento de la rosa de vientos. El modelo de pluma gaussiana toma en cuenta las condiciones meteorológicas, la altura de la chimenea y emisión, y la topografía del terreno brinda una poderosa guía para la adecuada selección de los puntos de muestreo. La dirección predominante de vientos va a formar la columna vertebral de los puntos a escoger. Las distancias de muestreo van a depender también de la distribución de los contaminantes en el suelo, el tamaño de las partículas emitidas y niveles de actividad liberados. El área escogida en este caso debe respetar el criterio que se pueda tomar muestra en períodos posteriores.

Procedimiento

1. Se marca una superficie cuadrada de aproximadamente 20 cm de lado, y se excava usando una pala hasta 5 cm de profundidad.
2. La muestra recogida, que incluye la vegetación, se coloca en una bolsa de polietileno, se etiqueta indicando el punto de muestreo, la fecha, el peso y datos específicos de la muestra.
3. Se limpia la herramienta con agua y detergente y se seca antes de tomar la próxima muestra.
4. Se procede al tamizado de la muestra húmeda, usando una malla abierta de 1 cm. Se descartan las piedras que quedan en la maya.
5. La vegetación y las raíces se cortan con tijera hasta un tamaño de aproximadamente 0,7-0,8 cm, para que puedan pasar por la maya.
6. La mezcla de tierra húmeda y vegetación se homogeniza, utilizando espátula, durante aproximadamente 15 minutos.
7. Se lleva a una geometría pote normalizada, previamente tarado, utilizando un envase plástico de boca ancha rotulado, de 70 mm de diámetro y 40 mm de alto, se pesa, se coloca en una bolsa de polietileno y se mide por espectrometría gamma.
8. Si es necesario finalmente la muestra se puede someter al procedimiento 2c.1.

3. PARTÍCULAS EN AIRE

Para evaluar el impacto ambiental de las descargas gaseosas, se toman y analizan muestras de aire, con el fin de determinar la presencia de aerosoles radiactivos. Se entiende por aerosoles a “un sistema de partículas coloidales dispersas en un gas”. Los aerosoles ambientales contienen una amplia mezcla de especies químicas, tanto líquidas como sólidas, que por supuesto abarcan algunos materiales radiactivos. Típicamente están presenten en concentraciones que varían de 50 a 500 microgramos / m^3 y se alcanzan grandes factores de preconcentración filtrando grandes volúmenes de aire a través de un filtro usando una bomba para retener los aerosoles.

Para asegurar una toma de muestra exitosa se optimizó el tiempo de muestreo y caudal de aspiración de acuerdo a los niveles esperados de actividad, los radionucleidos a medir y la sensibilidad de las técnicas utilizadas. Para asegurar la representatividad de la muestra tomada el equipo se colocó en una zona abierta, no cercana a paredes u otros obstáculos que pudieran causar anoma-

lías locales en el flujo de aire. La entrada de aire al muestreador es horizontal encontrándose a 1,5 m del piso (a nivel respiratorio), de manera tal que no influya la resuspensión y con una cubierta superior para prevenir la entrada directa de agua de lluvia y polvo del fallout. Aún así la colección de grandes partículas puede variar con la dirección y velocidad del viento.

El muestreo de los mismos se realiza utilizando un filtro de fibra de vidrio marca Delbag, con pre-filtro protector y una bomba de caudal 1,5 m^3/min.

Debido al largo período utilizado en el muestreo y para disminuir las fuentes de error, en el dispositivo utilizado, se coloca el rotámetro después de la bomba o antes del filtro (ya que el rotámetro interferiría con los aerosoles), y no entre el filtro y la bomba (debido a que normalmente se produce una caída de presión sobre el filtro y el rotámetro está calibrado para trabajar a una atmósfera). De la misma manera se verifican que no haya pérdidas entre el soporte y el filtro. El integrador adosado al rotámetro está calibrado mediante un factor que da la relación “número de vueltas” a m^3 de aire circulantes.

En los casos en que se requiera monitorear I 131, se interpone un cartucho con carbón activado entre el filtro y la bomba

Tipo de filtro

El tipo de filtro se escoge del compromiso de varios factores, a saber: los procedimientos analíticos, costos, disponibilidad, eficiencia de colección, la capacidad del filtro para mantener sus propiedades filtrantes e integridad física en las condiciones ambientales del muestreo. Al filtro seleccionado se le realiza una medición de blanco para determinar su nivel de fondo y su aptitud por su contenido de trazas. Los filtros Delbag, clase S, utilizados son de alta eficiencia de colección para partículas de hasta 0,4 micrones, alta capacidad de carga y baja resistencia al flujo.

Al retirar el filtro para evitar pérdidas en el transporte se dobla hacia adentro y se le coloca en un sobre de papel. En el laboratorio se colocan dos papeles de filtro, se prensa y finalmente un tercer papel, se vuelve a prensar.

Debido a la presencia de radionucleidos naturales con período de semidesintegración corto (ejemplo, Be 7) que elevan el fondo de radiación, y como compromiso entre los que se desea medir, el límite de detección buscado y las interferencias, se almacena el filtro por 24 h para que decaigan.

Procedimiento

1. Semanalmente se cambia el filtro de fibra de vidrio de diámetro 30 cm.
2. Se mide el volumen de aire que circuló utilizando un rotámetro y un totalizador.
3. Una vez finalizado el muestreo, se retira el filtro, se prensa hasta una geometría pastilla normalizada de 70 mm de diámetro y 5 mm de altura y se sella en una bolsa de polietileno.
4. Se rotula indicando el punto de muestreo, la fecha y datos específicos de la muestra, se coloca en una bolsa de polietileno.
5. Se almacena por 24 h el filtro y se mide por espectrometría gamma.
6. Finalizada la medición, se calcinan para el análisis radioquímico posterior.

4. AGUAS

La importancia de la medición de elementos tóxicos en aguas (especialmente potable) es obvia. La composición de las aguas de río, subterráneas, de lagos y mar se refleja en la biosfera y afecta la composición de los alimentos. Es por ello, que se realiza un intensivo monitoreo de la calidad de diferentes tipos de aguas.

Se utilizan envases de polietileno y embudos nuevos, a los que se les realiza una limpieza previa, como se describe a continuación:

- Se enjuagan con agua bidestilada.
- Se llenan con HNO_3 10% (p.a.) y se dejan una noche.
- Se enjuagan nuevamente con agua bidestilada.
- Se tapan los envases, el embudo se coloca en una bolsa plástica para protegerlo del depósito seco de partículas y se almacenan.

4.1. AGUA DE RÍO

En este tipo de muestras siempre debe realizarse una toma de muestra aguas arriba del posible punto de descarga y las restantes aguas abajo. Se comienza tomando la muestra del blanco y se continúa con la más alejada de la instalación, terminando por la más cercana. Una muestra alejada, como mínimo 10 km aguas abajo del punto de emisión, se toma para comparación con el blanco. Las muestras comúnmente son tomadas a profundidad media y en un punto donde haya una corriente que asegure la mezcla total, evitando los lugares estancados y remover el fondo para evitar la resuspensión de arenillas y barros.

Se utilizan diferentes procedimientos según los radionucleidos que se busque determinar. Para analizar U y Ra se describe el procedimiento de muestreo a continuación.

Procedimiento para uranio y radio

1. Mensualmente se toma una muestra de 1 L de agua.
2. Se utiliza un vaso muestreador y se enjuaga la botella de polietileno, como mínimo, dos veces llenándola hasta ¾ de su volumen, agitándola y vertiendo el contenido.
3. Se colecta la muestra, generalmente, sumergiendo el muestreador dentro del agua, con la boca enfrentando la corriente.
4. Se llena completamente el envase (dejando ½ cm de aire en la parte superior), tapándolo en forma adecuada.
5. En el laboratorio las muestras se filtran (para eliminar las partículas en suspensión), utilizando papel SS banda negra. Es importante minimizar el tiempo de interacción entre las partículas en suspensión y la disolución, la filtración se hace inmediatamente después del muestreo.
6. Antes del almacenamiento, se acidifica levemente con HNO_3 (4mL/L).
7. Se rotula indicando el punto de muestreo, la fecha y datos específicos de la muestra y se coloca en una bolsa de polietileno.
8. Se remite al laboratorio para el análisis radioquímico.

Para analizar emisores gamma (excepto yodos) y/o Sr 90 el procedimiento es el siguiente:

Procedimiento para emisores γ estroncio 90

1. Mensualmente se toma una muestra de 20 L de agua.
2. Se utilizan bidones de polietileno limpios, repitiendo los pasos 2, 3, 4, 5, 6 del procedimiento 4.1a.
3. Se concentra la muestra por evaporación sobre plancha calefactora.
4. Las muestras retiradas mensualmente se integran en un "pool" trimestral. El volumen final es transferido a un recipiente de 100 mL para su medición
5. Se etiqueta la botella de polietileno de 100 mL normalizada, indicando el punto de muestreo, la fecha y datos específicos de la muestra, se coloca en una bolsa de polietileno y se mide por espectrometría gamma.
6. La muestra se envía a los laboratorios radioquímicos para la determinación de Sr 90.

Si se analiza tritio se toma una muestra adicional de 1L en botella de vidrio, se rotula y se remite al laboratorio radioquímico.

4.2. AGUA SUPERFICIAL DE LAGO Y MAR

Las muestras se toman directamente usando una botella limpia de polietileno desde un bote de goma, siendo la distancia a cualquier embarcación de 350 m, para evitar la contaminación.

Para analizar emisores gamma (excepto yodos) y/o Sr 90 el procedimiento es el siguiente:

Procedimiento

1. Mensualmente se toma una muestra de 20 L de agua, utilizando bidones de polietileno limpios.
2. Se repiten los pasos 4 y 5 del procedimiento 4.1a.
3. Antes del almacenamiento, se acidifica levemente con HCl 30% (2mL/L).
4. Se concentra la muestra por evaporación sobre plancha calefactora.
5. Las muestras retiradas mensualmente se integran en un "pool" trimestral. El volumen final es transferido a un recipiente normalizado de 100 mL para su medición
6. Se etiqueta la botella de polietileno de 100 mL normalizada, indicando el punto de muestreo, la fecha y datos específicos de la muestra, se coloca en una bolsa de polietileno y se mide por espectrometría gamma.
7. La muestra se envía a los laboratorios radioquímicos para la determinación de Sr 90.

Si se analiza tritio se toma una muestra adicional de 1L en botella de vidrio, se rotula y se remite al laboratorio radioquímico

Si se analiza U y Ra se siguen los pasos 1, 4, 5, 6 y 7 del procedimiento 4.1a.

4.3. AGUA DE NAPA

Para tomar muestras de aguas subterráneas, se muestrea normalmente la primer napa (napa freática), que según la zona de muestreo se encuentra a distinta profundidad y su caudal varía dependiendo de la estación del año. Para ello se realizan pozos encamisados, convenientemente identificados y tapados para evitar que penetren por la boca del caño posibles materiales contaminantes (ejemplos: tierra, pasto o vegetación en general y/o agua de lluvia, de arrastre, etc.). El diámetro de los pozos utilizados es de 10 cm y el material del encamisado es de PVC. La integridad del encamisado se verifica periódicamente. Para la realización del muestreo previamente se vacía el pozo utilizando una bomba centrífuga con objeto de disminuir potencial contaminación local. El tiempo de vaciado depende de la cantidad de agua retenida en la napa. Una vez vaciado el pozo se espera que el agua retome su nivel y se procede a la extracción de la muestra. Teniendo en cuenta, la pendiente de la napa se muestrea aguas arriba de la instalación para tener el valor de referencia para el fondo y aguas abajo hasta una distancia de 5 km.

Para tomar la muestra se utiliza un piezómetro de bronce de 6 cm de diámetro y 10 cm de alto, que se introduce en el pozo con la ayuda de un cordel de plástico.

Procedimiento

1. Mensualmente se toma una muestra de 1 L de agua en un envase de geometría normalizada.
2. Se procede a vaciar la napa y se espera que retome su nivel normal.
3. Se enjuagan el muestreador y la botella de polietileno como mínimo dos veces, llenándolo hasta ¾ partes de su volumen, agitando y desechando el contenido.
4. Se llena completamente el envase (dejando ½ cm de aire en la parte superior), tapándolo en forma adecuada.
5. En el laboratorio las muestras se filtran (para eliminar las partículas en suspensión), utilizando papel SS banda negra. Es importante minimizar el tiempo de interacción entre las partículas en suspensión y la disolución, la filtración se hace inmediatamente después del muestreo.
6. Antes del almacenamiento, se acidifica levemente con HNO_3 (4mL/L).
7. Se rotula indicando el punto de muestreo, la fecha y datos específicos de la muestra, se coloca en una bolsa de polietileno y se mide por espectrometría gamma.

Esta muestra es enviada para medir Tritio y luego para determinar Sr 90.

Si se analiza uranio se toma una muestra adicional de 1L en botella plástica, se rotula y se remite al laboratorio radioquímico.

4.4. AGUA CORRIENTE

Para recoger una muestra representativa de agua corriente se deja corriendo el agua por al menos 30 minutos, después de un período de estancamiento en las cañerías, por ejemplo de toda la noche. Se siguen los pasos 1, 2, 3, 5 y 6 del procedimiento 4.1b.

Si se analiza U y Ra. se siguen los pasos 1, 4, 5, 6 y 7 del procedimiento 4.1a.

Si se analiza tritio se toma una muestra adicional de 1L en botella de vidrio, se rotula y se remite al laboratorio radioquímico.

4.5. AGUA DE LLUVIA

Se determina en el depósito total (seco y húmedo), para ello ver 2a.2.

CASOS ESPECIALES

4.5a. Muestreo por filtrado de gran volumen de agua

A veces es necesario concentrar los radionucleidos suspendidos a partir de un gran volumen de agua. El equipo utilizado consiste del filtro propiamente dicho, una bomba centrífuga, un caudalímetro integrador y de ser necesario un generador eléctrico (o baterías según el caso) para operar la bomba. El volumen de agua a filtrar varía, dependiendo del grado de contaminación presente y el límite de detección del método de análisis utilizado. En general resultan adecuados volúmenes del orden de 300 L.

Procedimiento

1. Limpiar con agua durante 2 minutos antes de conectar el filtro.
2. Colocar el filtro y registrar la lectura del caudalímetro.
3. Encender la bomba, chequear que no haya pérdidas.
4. Apagar la bomba cuando hayan pasado 300 L y registrar la lectura del caudalímetro.
5. Remover el filtro, colocarlo en una bolsa de plástico y limpiar el sistema con agua.
6. Rotular el filtro indicando el punto de muestreo, la fecha y datos específicos de la muestra.
7. Remitir al laboratorio para el adecuado procesamiento.

4.5b. Muestreo instantáneo

Cuando se tiene sospecha de una emisión puntual, no programada o incidental, y se requiere una respuesta rápida se utiliza el siguiente procedimiento.

Procedimiento

1. Se toman dos muestras de 1 L de agua, utilizando envases plásticos de boca ancha de geometría normalizada de 1 dm^3.
2. Se utiliza un vaso muestreador y se enjuaga la botella de polietileno, como mínimo, dos veces llenándola hasta ¾ de su volumen, agitándola y vertiendo el contenido.
3. Se colecta la muestra, generalmente, sumergiendo el muestreador dentro del agua, con la boca enfrentando la corriente.
4. Se llena completamente el envase (dejando ½ cm de aire en la parte superior), tapándolo en forma adecuada.
5. En el laboratorio las muestras se filtran (para eliminar las partículas en suspensión), utilizando papel SS banda negra. Es importante minimizar el tiempo de interacción entre las partículas en suspensión y la disolución, la filtración se hace inmediatamente después del muestreo.
6. Antes del almacenamiento, se acidifica levemente con HNO_3 (4mL/L).
7. Se rotulan indicando el punto de muestreo, la fecha y datos específicos de la muestra, se colocan en sendas bolsas de polietileno.
8. Una primera muestra se mide por espectrometría gamma. Si se analiza Sr 90 la muestra se envía a los laboratorios radioquímicos.
9. Una segunda, de ser necesario, se envía a los laboratorios radioquímicos para análisis de actínidos (ej: U y Ra). Si se analiza tritio la segunda muestra se toma en botella de vidrio.

5. SEDIMENTOS

Los sedimentos son matrices ideales para el muestreo ya que nos permiten reconstruir la historia de los depósitos y conocer el inventario de contaminantes. En especial los lagos y los reservorios de sedimentos nos brindan valiosos sustratos para investigar la presencia de numerosos contaminantes relacionados con las actividades nucleares, entre otras.

Es difícil la elección del sitio apropiado, el cual represente todos los radionucleidos depositados. Se evitan los sitios donde, por algún proceso natural, el radionucleido es transportado horizontalmente y depositado en otro. Es decir evitar aquellas áreas donde puede haber acumulación o depresión por fenómenos tales como inundación o erosión.

Los lugares elegidos para la toma de muestra son aquellos que presentan un mínimo de alteraciones para asegurar la representatividad de la muestra. En los cursos de agua, la zona conveniente para la extracción son los puntos de baja velocidad del agua (meandros, bancos, estuarios, etc.). Se seleccionaron puntos de fácil acceso de aguas poco profundas o donde el nivel de agua hubiera bajado recientemente.

Preferentemente se muestrea aquellos sedimentos que tipo arcillas o limosos (de grano fino), evitando la recolección de sedimentos arenosos (de muy bajo o nulo coeficiente de concentración).

Procedimiento básico

1. Mensualmente se recoge la muestra, utilizando tubos muestreadores plásticos, de 15 ó 20 cm de largo, según el caso, y 5 cm de diámetro, abierto en ambos bordes.
2. Se inserta lenta y verticalmente el tubo en el sedimento hasta una profundidad que asegure un llenado mínimo de 10 cm y retirar cuidadosamente. De ser necesario, se repite la operación hasta obtener la muestra en la forma adecuada.
3. Se sellan los topes con polietileno y se limpia por fuera el tubo.
4. Se rotula el tubo indicando el punto de muestreo, la fecha y datos específicos de la muestra y se coloca en una bolsa de polietileno.
5. En el laboratorio la muestra se seca en estufa a 100°C durante 15 h. Si las hubiera, se retiran las piedras de diámetro mayor a 3 cm.
6. Se procede a la molienda de la muestra hasta un tamaño adecuado para los requerimientos analíticos posteriores, se mezcla por 15-30 minutos. Finalmente se obtiene un polvo por tamizado a través de una malla de 100 mesh.
7. Se lleva a una geometría pote normalizada utilizando un envase plástico de boca ancha rotulado, de 70 mm de diámetro y 40 mm de alto, se pesa y se mide por espectrometría gamma.

En el caso que el sitio escogido no permita tomar la muestra por el procedimiento descripto debido a las condiciones del terreno se puede utilizar el siguiente procedimiento alternativo.

Procedimiento alternativo

Mensualmente se recoge la muestra, raspando la superficie con una espátula y de ser necesario usando elementos cortantes. El espesor de la capa muestreada varía entre 5 y 10 cm.

1. Se coloca la muestra dentro un frasco de boca ancha o bolsa de polietileno y se rotula.
2. Se repiten los pasos 5, 6 y 7 del procedimiento 5.1.

6. VEGETALES

6.1. VEGETALES DE CONSUMO

Las muestras de vegetales se recolectan de quintas que estén dentro de un radio de 5 km con respecto a la instalación analizada. Fundamentalmente se elige la dirección predominante vientos y se toma la parte más expuesta de la planta. Se toman distintas especies representativas de verduras de hoja (lechuga, repollo, espinaca, acelga), de raíz (cebolla, zanahoria, nabo), tubérculos (papas, batatas) y frutas (naranjas, manzanas, bananas, duraznos). Se toman aproximadamente entre 5 y 10 kg, dependiendo de cada especie. La parte comestible se corta en trozos pequeños y se colocan en una bandeja a baja temperatura. Luego se traspasa todo el material reducido de tamaño, a una cápsula de porcelana. Se mufla a 400°C y se lleva a cenizas. De la misma manera se procesan muestras representativas de una dieta (mezcla de alimentos) de un individuo estándar. La frecuencia de muestreo es trimestral.

Las muestras de vegetales, leche y peces son calcinadas, las cenizas homogeneizadas y llevadas a geometría normalizada (en forma de pastilla) y medidos por espectrometría gamma. Posteriormente se realiza el análisis de Sr 90.

7. LECHE

Las muestras de leche son recolectadas de tambos ubicados dentro de un radio de 5 km con respecto a la instalación de referencia. La leche puede provenir de un pool del tambo o de una vaca en particular. También se adquieren muestras de leche provenientes de bocas de expendio al público en centros urbanos. Son almacenadas en la heladera por cortos períodos y se le agrega formol (3 mL de solución 5% de formol por litro de leche) como conservante en caso de pasar un tiempo mayor antes del procesamiento. La frecuencia de muestreo es semanal (para análisis de I 131) y luego se realiza el análisis gamma sobre un pool trimestral.

Procedimiento

1. Semanalmente se recoge una muestra de 1 L de leche entera ya sea en un tambo o en una boca de expendio al público.
2. Se coloca la leche en una botella de polietileno de 1 L, de boca ancha, de geometría normalizada. Se rotula indicando el punto de muestreo, la fecha y datos específicos de la muestra
3. Se agregan 3 mL de formol 5% por litro de leche, y se coloca en bolsa de polietileno.
4. La muestra se mide por espectrometría gamma. Posteriormente se procede según 6.1. Se mufla a 400°C hasta obtener cenizas. Luego se envía a los laboratorios radioquímicos para la determinación de Sr 90 y eventualmente actínidos

8. PECES

Las muestras de peces son recolectadas de los cursos de agua de cada instalación en cuestión. Los pescados son limpiados, eliminando las vísceras (tal como se haría para el consumo humano) y sacándole la cabeza y la cola. Se cortan en trozos, se llevan a una cápsula de porcelana y se muflan con una rampa de temperatura para evitar la ignición de la muestra debido a su alto contenido en grasas. Se recolectan muestras de cada especie (3 kg) con frecuencia trimestral.

9. DIETA

Se elige una mezcla de alimentos que constituyen una dieta representativa que se consume principalmente en los grandes centros urbanos. Se adquiere diariamente el alimento ya preparado y cocido en centros de consumo masivos, de tal manera que se analiza solo la porción del alimento que forma parte de la ingesta. Los alimentos que normalmente son incluidos son distintos tipos de carnes vacuna, pollo y pescado; vegetales de hoja cocidos como por ejemplo acelga, espinaca, repollo; vegetales de raíz como por ejemplo zanahoria, remolacha, rabanito; derivados animales como huevo, queso y leche; tubérculos como por ejemplo papa, batata; legumbres como por ejemplo lenteja, poroto, arveja, etc. También se incluyen distintos tipos de pasta, como ser fideos, ñoquis, ravioles y también pan. La forma de preparación de estos alimentos es variada pudiéndose presentar como milanesa, empanada, guiso, etc. No se incluye en el procesamiento frutas ni ningún tipo de bebida.

Procedimiento

1. Diariamente se adquiere en centros de venta al público el equivalente a la ingesta diaria de alimento.
2. Se coloca en bolsa de polietileno, se rotula con la fecha y datos específicos de la muestra y se guarda en la heladera a 4°C.
3. Se realiza un pool semanal del alimento (aproximadamente 1,2 kg) y se procesa en el laboratorio.
4. La muestra se coloca en cápsula de porcelana y se quema lentamente en estufa, a temperatura variable llevando finalmente a 200°C. El tiempo de proceso va a depender del contenido energético de la muestra y en especial de la cantidad de fósforo presente, que puede entrar en ignición.
5. En una segunda etapa se lleva a cenizas a una temperatura de 400°C, durante aproximadamente 17 h (hasta que alcanza peso constante).
6. Las cenizas semanales se juntan para realizar un pool trimestral. Se obtienen alrededor de 150 g de cenizas.
7. Se utilizan aproximadamente 65 g para hacer una pastilla de 70 mm de diámetro y 5-7 mm de altura por prensado.
8. Se pesa la pastilla, se coloca en una bolsa de polietileno, se sella y se rotula con la fecha y datos específicos de la muestra.
9. Se mide por espectrometría gamma y se expresa el resultado trimestralmente por peso fresco de alimento cocido.
10. La muestra se envía a los laboratorios radioquímicos para la determinación de Sr 90.

REFERENCIAS

1. “Niveles de Cs 137 y Sr 90 en muestras ambientales de la República Argentina”. Bruno, H.; Nollman, C.; Escribano, T. y Jordán, O. CNEA NT 9/81, 1981.
2. Measurement of Radionuclides in Food and the Environment. (A Guidebook). IAEA, Vienne, 1989. Technical Reports Series N° 295.

C A P Í T U L O 2

LABORATORIOS RADIOQUÍMICOS

1. MEDICIÓN DE ACTIVIDAD ALFA TOTAL

1.1. Medición de actividad alfa total en filtros de papel y de acetato de celulosa (AT-01)

ANALITO: ALFA TOTAL

TÉCNICA: CENTELLEO SÓLIDO

MATRIZ: FILTRO DE PAPEL FILTRO DE ACETATO DE CELULOSA

LÍMITE DE DETECCIÓN: 7 mBq/filtro

APLICACIÓN

Se describe un procedimiento para la medición de la actividad alfa total en filtros, provenientes de barridos superficiales, soplidos nasales, etc. La técnica es aplicable sólo a filtros de papel y de acetato de celulosa. Entendemos por "alfa total" a la actividad proveniente de "todos" los emisores alfa.

El filtro contaminado o muestra, es calcinado en una mufla a 450°C hasta cenizas blancas, el residuo se disuelve con HNO_3 cc y se calienta hasta disolución, se lleva a volumen conocido y se toma una alícuota para la medición alfa total. La medición se realiza por centelleo sólido con discos de ZnS(Ag). El límite de detección oscila entre 2 mBq/filtro y 10 mBq/filtro dependiendo de las condiciones en que se realiza la determinación. El rendimiento de la técnica es 100% y los errores en los resultados están comprendidos entre 10% y 20% (en las mismas condiciones).

EQUIPAMIENTO

- Contador alfa de centelleo sólido
- Discos de Mylar de ZnS activado con Ag, de 5 cm de diámetro, no aluminizado
- Mufla de laboratorio
- Plancha calefactora
- Lámpara infrarroja
- Viales de vidrio para centelleo líquido

REACTIVOS

- Ácido nítrico - HNO_3 8 M, p.a.
- Solución estándar calibrada de un emisor alfa (Am 241 ó U 233)
- Papel de aluminio

PROCEDIMIENTO

1. Colocar el filtro convenientemente doblado en el vial de centelleo, cubrir la boca con papel de aluminio a modo de tapa; hacer en el mismo unos pequeños orificios para que el cierre no sea hermético.
2. Calcinar a 450°C en una mufla, durante 10 horas aproximadamente, hasta la eliminación del papel de filtro. Nota: dependiendo del origen de la muestra, así como también de la calidad y características del papel de filtro, puede quedar un pequeño residuo de calcinación que no será soluble totalmente en ácido concentrado.
3. Agitar el residuo hasta lograr un residuo finamente dividido y así facilitar su disolución.
4. Agregar 5 mL de HNO_3 8M y calentar para su disolución. Evitar la variación de volumen; si hay reducción por calentamiento completar a 5 mL con H_2O destilada.
5. Tomar de esta solución una alícuota para ser medida en el contador alfa de centelleo sólido.

MEDICIÓN

- Medir el fondo de un vidrio de reloj de 5 cm de diámetro, en el contador alfa de centelleo sólido durante no menos de 1000 minutos.
- Tomar una alícuota de 0,5-1 mL de la solución del vial y colocarla en el vidrio de reloj.
- Evaporar a sequedad bajo lámpara infrarroja.
- Medir en el contador alfa de centelleo sólido con disco de ZnS(Ag), durante 1000 minutos o bien el tiempo necesario para alcanzar no menos de 1000 cuentas.
- Agregar al vidrio de reloj una alícuota de una solución de actividad conocida de un emisor alfa, como por ejemplo Am 241, Am 243, U 233, Pu 238, Pu 239, etc. **Nota:** el nucleido alfa agregado es el estándar interno necesario para el cálculo de la eficiencia de medición. La actividad agregada debe tener un contaje del mismo orden que el contaje de la muestra, en caso de ser factible, y además debe estar contenida en un volumen igual al de la alícuota de muestra. De no ser así, completar con HNO_3 8M en el mismo vidrio de reloj de manera que el estándar interno esté distribuido lo más homogéneamente posible en la muestra.
- Evaporar a sequedad bajo lámpara infrarroja.
- Medir nuevamente en el contador alfa.

CÁLCULOS

Para el cálculo de la actividad, eficiencia, límite de detección y desviación estándar, se utilizan las siguientes fórmulas y parámetros:

Eficiencia

$$E = \frac{T/t_T - M/t_M}{A}$$

Actividad del filtro

$$A_M = \frac{(M/t_M - F/t_F)\cdot V_1}{E \cdot 60 \frac{dpm}{Bq} \cdot V_2}$$

F = cuentas correspondientes a la medición del fondo

t_F = tiempo de medición del fondo, en minutos

M = cuentas correspondientes a la medición de la muestra

T_M = tiempo de medición de la muestra, en minutos

T = cuentas correspondientes a la medición de la muestra con el agregado del estándar interno

t_T = tiempo de medición de la muestra con el agregado del estándar interno, en minutos

V_1 = volumen de la solución del filtro, previo a la toma de la alícuota

V_2 = volumen de la alícuota tomada para la medición

A = actividad agregada de estándar interno, en dpm

A_M = actividad de la muestra, en Bq/filtro

E = eficiencia de medición, en cpm/dpm

Límite de detección (LD)

$$LD\left(Bq/filtro\right) = \frac{K \cdot \sqrt{cpmF/t_F} \cdot V_1}{E \cdot 60 \cdot V_2}$$

donde

K = 2 k y

k = 1,645 para un nivel de confianza del 95%.

Para fondos de 0,09 cpm medidos durante 1000 minutos, una eficiencia de medición de 0,40 cpm/dpm, un volumen inicial de 5,00 mL y una alícuota de 1,00 mL el límite de detección es 7 mBq/filtro, para un nivel de confianza del 95%.

Desviación estándar

$$\sigma E = \left[\frac{(\sigma T)^2}{\left(t_T \cdot A\right)^2} + \frac{(\sigma M)^2}{(t_M \cdot A)^2} + \frac{(T/t_T - M/t_M)^2}{A^4} \cdot (\sigma A)^2\right]^{1/2}$$

$$\sigma A_M = \left\{\frac{(M/t_M - F/t_F)^2}{(E \cdot 60 \cdot V_2)^2}\left[(\sigma V_1)^2 + \frac{(V_1 \cdot \sigma V_2)^2}{(V_2)^2} + \frac{(V_1 \cdot \sigma E)^2}{E^2}\right] + \frac{(V_1)^2}{(E \cdot 60 \cdot V_2)^2}\left[\frac{(\sigma M)^2}{(t_M)^2} + \frac{(\sigma F)^2}{\left(t_F\right)^2}\right]\right\}^{1/2}$$

donde

σV_1 = desviación estándar de V_1

σV_2 = desviación estándar de V_2

σM = desviación estándar de M = $(M)^{1/2}$

σT = desviación estándar de T = $(T)^{1/2}$

σF = desviación estándar de F = $(F)^{1/2}$

σA = desviación estándar de A (obtenido del Certificado de Calibración)

σA_M = desviación estándar de A_M

σE = desviación estándar de E

REFERENCIAS

Clein, D.A. y Quintans, M.E. “Recopilación de técnicas de laboratorio”, CNEA-NT 27/78.

1.2. Medición de actividad alfa total en filtros de fibra de vidrio (AT-02)

ANALITO: ALFA TOTAL	**TÉCNICA:** CENTELLEO SÓLIDO
MATRIZ: FILTRO DE FIBRA DE VIDRIO	**LÍMITE DE DETECCIÓN:** 7 mBq/filtro

APLICACIÓN

Se describe un procedimiento para la medición de la actividad alfa total en filtros, provenientes de barridos superficiales, cabezales de filtro, etc. La técnica es aplicable sólo a filtros de fibra de vidrio. Entendemos por “alfa total” a la actividad proveniente de “todos” los emisores alfa.

El filtro contaminado o muestra, se ataca con ácidos nítrico y fluorhídrico, hasta disolución total del mismo, se lleva a volumen conocido y se toma una alícuota para la medición alfa total. La medición se realiza por centelleo sólido con discos de ZnS(Ag). El límite de detección oscila entre 2 mBq/filtro y 10 mBq/filtro dependiendo de las condiciones en que se realiza la determinación. El rendimiento de la técnica es 100% y los errores en los resultados están comprendidos entre 10% y 20% (en las mismas condiciones).

EQUIPAMIENTO

- Contador alfa de centelleo sólido
- Discos de Mylar de ZnS activado con Ag, de 5 cm de diámetro, no aluminizado
- Plancha calefactora
- Lámpara infrarroja
- Vasos de precipitado de Teflon™ con base grafitada, de 100-150 mL

REACTIVOS

- Ácido nítrico - HNO_3 8M, p.a.
- Ácido fluorhídrico - HF p.a.
- Ácido nítrico - HNO_3 p.a.
- Solución estándar calibrada de un emisor alfa (Am 241 ó U 233)

PROCEDIMIENTO

1. Colocar el filtro convenientemente doblado en el vaso de precipitado de Teflon™ de base grafitada de 100 ó 150 mL, dependiendo del tamaño del filtro.

2. Agregar 10 mL de HNO_3 cc y 3 mL de HF cc, calentar hasta disolución del filtro; de ser necesario mineralizar con H_2O_2 de 100 vol Llevar a sequedad.

3. Agregar 5 mL de HNO_3 8M y, en caso de ser necesario, calentar para su disolución. Evitar la variación de volumen; si hay reducción por calentamiento completar a 5 mL con H_2O destilada.
4. De esta solución se toma una alícuota para ser medida en el contador alfa de centelleo sólido.

MEDICIÓN

Ver *Procedimiento AT-01.*

CÁLCULOS

Ver *Procedimiento AT-01.*

REFERENCIAS

Quintans, M.E. y Clein, D.A. “Recopilación de técnicas de laboratorio”, CNEA-NT 27/78.

1.3. Medición de actividad alfa total en aguas (AT-03)

ANALITO: ALFA TOTAL | **TÉCNICA:** CENTELLEO SÓLIDO

MATRIZ: AGUA | **LÍMITE DE DETECCIÓN:** 7 mBL

APLICACIÓN

Se describe un procedimiento para la medición de la actividad alfa total en aguas. Entendemos por "alfa total" a la actividad proveniente de "todos" los emisores alfa.

La muestra se concentra por evaporación hasta un volumen conocido y se toma una alícuota para la medición alfa total. La medición se realiza por centelleo sólido con discos de ZnS(Ag). El límite de detección es de 0,07 Bq/L en las condiciones detalladas en este procedimiento. El rendimiento de la técnica es 100% y los errores en los resultados están comprendidos entre 10% y 20% (en las mismas condiciones).

EQUIPAMIENTO

- Contador alfa de centelleo sólido. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Discos de ZnS activado con Ag, en soporte de Mylar. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Plancha calefactora
- Lámpara infrarroja
- Vidrios de reloj de 5 cm de diámetro

REACTIVOS

- Ácido nítrico - HNO_3 5M
- Ácido nítrico - HNO_3 p.a.
- Solución estándar calibrada de un emisor alfa (Am 241 ó U 233)
- Agua oxigenada - H_2O_2 p.a. 100 vol.

PROCEDIMIENTO

1. Tomar una alícuota de 1000 ml de agua, agregar 10 ml de HNO_3 cc y evaporar a sequedad sobre plancha calefactora.
2. Mineralizar el residuo con H_2O_2 100 vol. y HNO_3 cc.
3. Disolver el residuo con 10 ml de HNO_3 5M. Calentar para facilitar su disolución.
4. De esta solución se toma una alícuota para ser medida en el contador alfa de centelleo sólido.

MEDICIÓN

1. Medir el fondo de un vidrio de reloj de 5 cm de diámetro, en el contador alfa de centelleo sólido con disco de ZnS(Ag) durante no menos de 1000 minutos.
2. Tomar una alícuota de 1 mL de la solución anterior y colocarla en el vidrio de reloj.
3. Evaporar a sequedad bajo lámpara infrarroja.
4. Medir en el contador alfa de centelleo sólido
5. Medir en el contador alfa de centelleo sólido con disco de ZnS(Ag), durante 1000 minutos o bien el tiempo necesario para alcanzar no menos de 1000 cuentas.
6. Agregar al vidrio de reloj una alícuota de una solución de actividad conocida de un emisor alfa, como por ejemplo Am 241, Am 243, U 233, Pu 238, Pu 239, etc. Nota: el nucleido alfa agregado es el estándar interno necesario para el cálculo de la eficiencia de medición. La actividad agregada debe tener un contaje del mismo orden que el contaje de la muestra, en caso de ser factible, y además debe estar contenida en un volumen igual al de la alícuota de muestra. De no ser así, completar con HNO_3 8M en el mismo vidrio de reloj de manera que el estándar interno esté distribuido lo más homogéneamente posible en la muestra.
7. Evaporar a sequedad bajo lámpara infrarroja.
8. Medir nuevamente en el contador alfa.

CÁLCULOS

Para el cálculo de la actividad, eficiencia, límite de detección y desviación estándar, se utilizan las siguientes fórmulas y parámetros:

Eficiencia

$$E = \frac{T/t_T - M/t_M}{A}$$

Actividad de la muestra

$$A_M = \frac{(M/t_M - F/t_F) \cdot V_2}{E \cdot 60\frac{dpm}{Bq} \cdot V_3 \cdot V_1}$$

F = cuentas correspondientes a la medición del fondo

t_F = tiempo de medición del fondo, en minutos

M = cuentas correspondientes a la medición de la muestra

T_M = tiempo de medición de la muestra, en minutos

T = cuentas correspondientes a la medición de la muestra con el agregado del estándar interno

t_T = tiempo de medición de la muestra con el agregado del estándar interno, en minutos

V_1 = volumen de la muestra de agua, en litros

V_2 = volumen de la solución, de la cual se toma la alícuota para la medición, en mL

V_3 = volumen de la alícuota tomada para la medición, mL

A = actividad agregada de estándar interno, en dpm

A_M = actividad de la muestra, en Bq/L

E = eficiencia de medición, en cpm/dpm

Límite de detección (LD)

$$LD\left(Bq/L\right)=\frac{K\cdot\sqrt{cpmF/t_F}\cdot V_2}{E\cdot 60\cdot V_1\cdot V_3}$$

donde

K = 2 k y

k = 1,645 para un nivel de confianza del 95%.

Para fondos de 0,09 cpm medidos durante 1000 minutos, una eficiencia de medición de 0,40 cpm/dpm, un volumen inicial de 1L reducido a 10 mL y una alícuota de 1,00 mL el límite de detección es 0,07 Bq/L, para un nivel de confianza del 95%.

REFERENCIAS

Quintans, M.E. y Clein, D.A. “Recopilación de técnicas de laboratorio”, CNEA-NT 27/78.

2.1. Determinación de Am 241 y Cm 244 en suelos (Am-01)

ANALITO: AMERICIO, CURIO

TÉCNICA: ESPECTROMETRÍA ALFA

MATRIZ: SUELO

LÍMITE DE DETECCIÓN: 10 mBq/kg

APLICACIÓN

El presente procedimiento es aplicable a muestras ambientales como sedimentos y suelos que contengan bajos niveles de americio y curio provenientes del fallout o de ciertas actividades nucleares.

La muestra se calcina en una mufla para eliminar la materia orgánica y luego se procede a una lixiviación con agua regia y con una mezcla HNO_3 + HF (1+1). Los lixiviados se llevan casi a sequedad y se mineralizan con H_2O_2 y HNO_3 cc. El residuo se disuelve en HNO_3 4M y el Am y el Cm se coprecipitan primero con oxalato de calcio y luego con hidróxido férrico. El precipitado se disuelve en HCl 9 M.

Para el aislamiento del Am y Cm de los demás actínidos se pasa la muestra a través de resinas de intercambio aniónico y catiónico, luego se realizan extracciones con un solvente orgánico apropiado, y por último se realiza una purificación utilizando una resina en medio alcohólico. Una vez purificados el Am y el Cm se procede a la electrodeposición según el *Procedimiento* 2.16.1. La medición se lleva a cabo por espectrometría alfa con un detector de ión implantado según el *Procedimiento Alfa-01.*

EQUIPAMIENTO

- Columnas de vidrio para intercambio iónico. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Mufla con rampa de temperatura programable, desde 80°C hasta 700°C
- Materiales para electrodeposición. Ver *Procedimiento 2.16.1.*
- Plancha calefactora, con agitación

REACTIVOS

- Solución calibrada de Am 243 y Cm 242, como trazadores
- Resina aniónica Bio Rad™ AG 1 x 8 (100-200 mesh), forma Cl^-
- Resina catiónica Bio Rad™ AG 50WX 8 (200-400 mesh), forma H^+
- Resina aniónica Bio Rad™ AG 1x 4 (100-200 mesh), forma Cl^-
- Fe^{3+} como portador, 100 mg mL^{-1}. Suavemente calentar 100 g de Fe en polvo en 500 mL de HCl hasta que la reacción cese. Agregar cuidadosamente 100 mL de HNO_3 mientras se agita. Enfriar y diluir a 1L
- Ácido 2- etilhexilfosfórico (HDEHP) 0,9M
- Solución de HNO_3 1M en CH_3OH 90%

- Solución de HCl 0,1M- NH_4SCN 0,5M en CH_3OH 80% (v/v)
- Solución de HCl 1,5M en CH_3OH 83% (v/v)
- HNO_3 p.a.
- HCl p.a.
- HF p.a.
- Ácido Oxálico (s) p.a.
- $Ca(NO_3)_2$ (s) p.a.

PROCEDIMIENTO

Preparación de la muestra

1. Pesar por duplicado aproximadamente 20 g de muestra en cápsulas de porcelana.
2. Agregar una cantidad conocida de cada uno de los trazadores.
3. Tratar en mufla a 100°C por 24 horas y luego elevar la temperatura en rangos de 100°C hasta 550°C. Esto permite, en esta primera etapa, eliminar la humedad y materiales volátiles, para finalmente destruir la materia orgánica. En algunos casos son necesarios tratamientos con NH_4NO_3.
4. Retomar cuidadosamente el residuo con HNO_3 (50%), trasvasándolo a un recipiente plástico de centrífuga de 250 mL.
5. Agregar 90 mL de agua regia HNO_3 + HCl (1+3) con agitación y temperatura durante toda la noche.
6. Centrifugar y separar el sobrenadante por decantación empleando un vaso de 1 L de Teflon™ con base grafitada.
7. Repetir el ataque ácido, centrifugación y decantación 2 veces más, combinando los sobrenadantes en el mismo vaso de Teflon™.
8. Tratar al residuo del centrifugado con 50 mL de HNO_3 + HF (1+1) con agitación en caliente.
9. Centrifugar y agregar el sobrenadante al vaso de Teflon™. Repetir esta operación 2 veces. A medida que se van retomando las soluciones de lixiviación, se van evaporando sobre plancha calefactora hasta llegar casi a sequedad.
10. Mineralizar con H_2O_2 gota a gota y tratar con HCl hasta la eliminación total del HF.
11. Agregar 3 g de H_3BO_3.
12. Llevar a sequedad y retomar en 250 mL de HNO_3 4M.
13. Agregar 50 g de ácido oxálico por cada litro de solución y 200 mg de $Ca(NO_3)_2$ cada 250 mL de solución.
14. Precipitar con NH_4OH a pH 2.
15. Mantener con calor y agitación durante 4 horas. Dejar reposar toda la noche.
16. Trasvasar la solución a un recipiente de plástico de centrífuga, de 250 mL de capacidad. Centrifugar.
17. Trasvasar las aguas madres a un vaso de vidrio, acidificar levemente y agregar $Ca(NO_3)_2$.
18. Repetir la precipitación y centrifugar en la misma botella utilizada en 16.

19. Descartar las aguas madres.
20. Disolver el precipitado con 30-40 mL de HNO_3 cc. Trasvasar la solución a un vaso de vidrio y llevar a sequedad
21. Dejar aproximadamente 5-6 horas sobre plancha calefactora a 400°C hasta total descomposición del oxalato.
22. Disolver el residuo con HNO_3 diluido y agregar 20 mg de Fe^{3+}.
23. Precipitar a pH 4 con NH_4OH. Este paso permite la recuperación de los actínidos de la muestra.
24. Filtrar en el mismo filtro anterior y lavar con agua caliente y NH_4OH diluido.
25. Descartar las aguas madres.
26. Disolver el residuo en el mismo filtro con HCl 9M.

Separación de los actínidos

1. Acondicionar previamente las columnas (catiónica y aniónica) en HCl 9M según Procedimiento G-03
2. Sembrar la solución proveniente de la preparación de la muestra, en la columna de intercambio aniónica Bio Rad™ AG 1 x 8 (100-200 mesh). Aquí se retiene el U, Pu y gran parte del Fe presente.
3. Lavar las columnas con aproximadamente 80 mL de HCl 9M.
4. Juntar los líquidos de siembra y lavado, y pasar a través de la columna de intercambio catiónica Bio Rad™ AG 50W x 8 (200-400 mesh). Ésta retiene la mayor parte de Th. El Am, Cm y tierras raras no son retenidos, pudiendo pasar también algunos interferentes que se deberán eliminar en pasos posteriores.

Purificación de Am y Cm

1. Llevar a sequedad la solución resultante del paso anterior y retomarla con 15 mL de HNO_3 más 50-500 mL de agua.
2. Ajustar el pH en 2-3 con NH_4OH.
3. Extraer con ácido 2- etilhexilfosfórico (HDEHP) 0,9M en una relación orgánica acuosa (1:1). Guardar la fase acuosa para una posterior extracción. El Am y Cm, junto con las tierras raras y vestigios de Th, son retenidos en la fase orgánica eliminando la mayoría de los iones bivalentes en la fase acuosa.
4. Lavar dos veces la fase orgánica con igual volumen de HCl 0,075M. En esta etapa se remueven la mayor parte de las tierras raras de la fase orgánica.
5. Reextraer el Am y Cm con dos porciones de HNO_3 4M, utilizando el mismo volumen que el de la fase orgánica.
6. Repetir la extracción de la fase acuosa con HDEHP 0,9M.
7. Combinar las fases acuosas.
8. Llevarlas a sequedad y retomar el residuo con 50 mL de una solución HNO_3 1M en CH_3OH 90%.
9. Sembrar la solución en una columna de intercambio aniónico Bio Rad™ AG 1x4 (100-200 mesh). El Am y Cm quedan retenidos en la columna junto con algunas trazas de interferentes mientras que la mayor parte del Fe presente pasa a través de la misma.

10. Lavar con sucesivas porciones de la solución de HNO_3 1M en CH_3OH 90%.

11. Lavar y descartar los interferentes con una mezcla de HCl 0,1M- NH_4SCN 0,5M en CH_3OH 80% (v/v).

12. Eluir de la columna al Am y Cm con 150 mL de una solución de HCl 1,5M en CH_3OH 83%(v/v).

13. Llevar a sequedad el eluido y mineralizar.

14. Agregar 0,5 mL de H_2SO_4 y electrodepositar según el Procedimiento G-01.

15. Medir por espectrometría alfa según *Procedimiento Alfa-01.*

CÁLCULOS

Para el cálculo de la concentración de actividad se emplea directamente el factor de la relación entre los contajes del actínido a determinar y el trazador, por la actividad del trazador agregada y el factor gravimétrico. En el caso de suelos y sedimentos se suele expresar en Bq/kg.

$$A_A \left(Bq/kg \right) = \frac{C_A \cdot A_T}{C_T \cdot M}$$

donde

A_A = Actividad del analito

C_A = Cuentas del analito (Am 241 y Cm 244, descontando el fondo)

C_T = Cuentas del trazador (descontando el fondo)

A_T = Actividad agregada del trazador (Bq)

M = masa de suelo analizado (kg)

LÍMITE DE DETECCIÓN

El límite de detección se calcula considerando las cuentas del fondo en la zona del espectro correspondiente al americio y al curio.

Para una masa de muestra de 20 g, un detector de eficiencia 0,40 cpm/dpm y un rendimiento químico del 60%, el límite de detección de la técnica es de 10 mBq/kg.

REFERENCIAS

1. A. Yamato, Journal of Radioanalytical Chemistry, Vol. 75, Nos 1-2 (1982) 265

2. S. Ballestra, R. Fukai, Talanta. Vol 30. No1.(1983) 45-48

3. E. Holm, S. Ballestra, R. Fukai, Talanta, Vol 26 (1979) 791-792

4. N.A. Talvite, Anal. Chem,(1972) 44,280

5. EML Procedures Manual, HASL – 300, 28th Edition

2.2. Determinación de Am 241 y Cm 244 en vegetales (Am-02)

ANALITO: AMERICIO, CURIO

TÉCNICA: ESPECTROMETRÍA ALFA

MATRIZ: VEGETAL

LÍMITE DE DETECCIÓN: 10 mBq/kg

APLICACIÓN

Este procedimiento es aplicable a vegetales que contienen americio y curio provenientes del fallout o de ciertas actividades nucleares.

El vegetal se transforma en cenizas en una cápsula de porcelana usando una mufla con rampa programable. Luego, se disuelven las cenizas con ácido nítrico o una mezcla de ácidos nítrico y clorhídrico. De ser necesario se emplea HF para la eliminación de la sílice.

Para el aislamiento del Am y Cm de los demás actínidos se pasa la muestra a través de resinas de intercambio aniónico y catiónico, y finalmente se realizan extracciones con un solvente orgánico apropiado. Una vez purificados el Am y el Cm se procede a la electrodeposición según el *Procedimiento G-01*. La medición se lleva a cabo por espectrometría alfa con un detector de ión implantado según el *Procedimiento Alfa-01.*

EQUIPAMIENTO

- Columnas de vidrio para intercambio iónico. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Mufla con rampa de temperatura programable, desde 80°C hasta 700°C
- Para electrodeposición, ver *Procedimiento G-01*
- Plancha calefactora

REACTIVOS

- Solución calibrada de Am 243 y Cm 242, como trazadores
- Resina aniónica Bio Rad™ AG 1 x 8 (100-200 mesh), forma Cl^-
- Resina catiónica Bio Rad™ AG 50WX 8 (200-400 mesh), forma H^+
- Resina aniónica Bio Rad™ AG 1 x 4 (100-200 mesh), forma Cl^-
- Ácido 2- etilhexilfosfórico (HDEHP) 0,9M
- Solución HNO_3 1M en CH_3OH 90%
- Solución de HCl 0,1M- NH_4SCN 0,5M en CH_3OH 80% (v/v)
- Solución de HCl 1,5M en CH_3OH 83% (v/v)
- HNO_3 p.a.
- HCl p.a.
- HF p.a.
- Ácido Oxálico (s) p.a.
- $Ca(NO_3)_2$ (s) p.a.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

1. Pesar aproximadamente 20 g de muestra en cápsulas de porcelana.
2. Agregar una cantidad de trazador acorde a la actividad de la muestra. Nota: Ver *Procedimiento G-02.*
3. Tratar en mufla a 70°C durante 6 horas y luego incrementar la temperatura a razón de 50°C hasta llegar a 550°C con períodos de aproximadamente 4 horas.
4. Retomar cuidadosamente las cenizas con HNO_3 (50%) y calentar sobre plancha calefactora. Si la disolución es total, continuar con el punto 7.
5. Atacar con 90 mL de agua regia HNO_3 + HCl (1+3) con agitación y temperatura. Si la disolución es total, continuar con el punto 7.
6. Llevar a sequedad y tratar el residuo con 50 mL de HNO_3 + HF (1+1) con agitación en caliente.
7. Llevar a sequedad y retomar en 250 mL de HCl 9M.

PROCEDIMIENTO

Seguir según Procedimiento Am-01.

CÁLCULOS

Para el cálculo de la concentración en actividad se emplea directamente el factor de la relación entre los contajes del actínido a determinar y el trazador, por la actividad del trazador agregada y el factor gravimétrico. En el caso de vegetales se suele expresar en Bq/kg.

$$A_A \left({}^{Bq}\!/\!_{kg} \right) = \frac{C_A \cdot A_T}{C_T \cdot M}$$

donde

A_A = Actividad del analito

C_A = Cuentas del analito (Am 241 y Cm 244, descontando el fondo)

C_T = Cuentas del trazador (descontando el fondo)

A_T = Actividad agregada del trazador (Bq)

M = masa de vegetal analizado (kg)

LÍMITE DE DETECCIÓN

El límite de detección se calcula considerando las cuentas del fondo en la zona del espectro correspondiente al americio y al curio.

Para una masa de muestra de 20 g, un detector de eficiencia 0,40 cpm / dpm y un rendimiento químico del 60%, el límite de detección de la técnica es de 10 mBq/kg.

REFERENCIAS

1. A. Yamato, Journal of Radioanalytical Chemistry, Vol. 75, Nos 1-2 (1982) 265.
2. S. Ballestra, R. Fukai, Talanta.Vol 30. No1.(1983) 45-48.
3. E. Holm, S. Ballestra, R. Fukai, Talanta, Vol 26 (1979) 791-792.
4. N.A. Talvite. Anal. Chem,(1972) 44,280.
5. EML Procedures Manual, HASL – 300, 28th Edition.

2.3. Determinación de Am 241 y Cm 244 en filtros (Am-03)

ANALITO: AMERICIO, CURIO

TÉCNICA: ESPECTROMETRIA ALFA

MATRIZ: FILTRO

LÍMITE DE DETECCIÓN: 0,20 mBq/kg

APLICACIÓN

Este procedimiento es aplicable a determinaciones ambientales de Am y Cm en filtros de aire y sweep test.

El filtro se disuelve con HNO_3 cc y gotas de HF en un vaso de Teflon™ de base grafitada, se mineraliza con H_2O_2 y se lleva a sequedad. El residuo es resuspendido en HCl 9M, se toma una alícuota y se mide por espectrometría alfa para estimar la cantidad de trazador Am 243 ó Cm 242 a agregar.

Para el aislamiento del Am y Cm de los demás actínidos se pasa la muestra a través de resinas de intercambio aniónico y catiónico, y finalmente se realizan extracciones con un solvente orgánico apropiado. Una vez purificados el Am y el Cm se procede a la electrodeposición según el *Procedimiento 2.16.1.* La medición se lleva a cabo por espectrometría alfa con un detector de ión implantado según el *Procedimiento Alfa-01*.

EQUIPAMIENTO

- Columnas de vidrio para intercambio iónico. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Materiales para electrodeposición, ver *Procedimiento 2.16.1.*
- Mufla con rampa de temperatura programable, desde 80°C hasta 700°C
- Plancha calefactora

REACTIVOS

- Solución calibrada de Am 243 y Cm 242, como trazadores
- Resina aniónica Bio Rad™ AG 1 x 8 (100-200 mesh)
- Resina catiónica Bio Rad™ AG 50W x 8 (200-400 mesh)
- Resina aniónica Bio Rad™ AG 1 x 4 (100-200 mesh)
- Ácido 2- etilhexilfosfórico (HDEHP) 0,9M
- Solución HNO_3 1M en CH_3OH 90%
- Solución de HCl 0,1M- NH_4SCN 0,5M en CH_3OH 80% (v/v)
- Solución de HCl 1,5M en CH_3OH 83%(v/v)
- HNO_3 p.a.
- HF p.a.
- H_2O_2 100 vol. p.a.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

1. Disolver el filtro con HNO3 cc y algunas gotas de HF cc en un vaso de Teflon™ de base grafitada.
2. Mineralizar con H2O2 y llevar a sequedad.
3. Retomar el residuo con HCl 9M.
4. Trasvasar a un recipiente plástico, previamente pesado, y llevar a un peso de aproximadamente 50 g. Tomar una alícuota del 10% para estimar la actividad de trazador que debe agregarse.
5. Agregar una cantidad conocida de trazador y homogeneizar. Ver *Procedimiento G-02.*
6. Dividir el resto de la solución en dos alícuotas similares y procesar por duplicado.

PROCEDIMIENTO

Continuar según el *Procedimiento Am-01.*

CÁLCULOS

Para el cálculo de la concentración de actividad se emplea directamente el factor de la relación entre los contajes del actínido a determinar y el trazador, por la actividad del trazador agregada y el factor gravimétrico. En el caso de filtros se suele expresar en Bq/Filtro.

$$A_A \left({}^{Bq}\!/\!_{F} \right) = \frac{C_A \cdot A_T \cdot V_T}{C_T \cdot V_1}$$

donde

A_A= Actividad del analito.

C_A= Cuentas del analito (descontando el fondo)

C_T= Cuentas del trazador (descontando el fondo)

A_T= Actividad del trazador agregado (Bq)

V_1= Volumen de la alícuota (mL)

V_T= Volumen total del filtro disuelto (mL)

LÍMITE DE DETECCIÓN

El límite de detección se calcula considerando las cuentas del fondo en la zona del espectro correspondiente al americio y al curio.

Empleando un detector de eficiencia 0,40 cpm/dpm y obteniendo un rendimiento químico del 60%, el límite de detección de la técnica es de 0,20 mBq/filtro.

REFERENCIAS

1. A. Yamato, Journal of Radioanalytical Chemistry, Vol. 75, Nos 1-2 (1982) 265
2. S. Ballestra, R. Fukai, Talanta.Vol 30. No1.(1983) 45-48
3. E. Holm, S. Ballestra, R. Fukai, Talanta, Vol 26 (1979) 791-792
4. N.A. Talvite. Anal. Chem,(1972) 44,280
5. EML Procedures Manual, HASL – 300, 28th Edition

2.4. Determinación de Am 241 y Cm 244 en aguas (Am-04)

ANALITO: AMERICIO, CURIO

TÉCNICA: ESPECTROMETRÍA ALFA

MATRIZ: AGUA

LÍMITE DE DETECCIÓN: 0,40 mBq/L

APLICACIÓN

El presente procedimiento describe un método para separar, purificar y medir bajos niveles de americio y curio en aguas.

La muestra se lleva a sequedad, se mineraliza y el residuo se disuelve en HCl 9M. En el caso de aguas muy salinas se coprecipitan los actínidos con Fe^{3+}, como en el caso de suelos y sedimentos.

Para el aislamiento del Am y Cm de los demás actínidos se pasa la muestra a través de resinas de intercambio aniónico y catiónico, y finalmente se realizan extracciones con un solvente orgánico apropiado. Una vez purificados el Am y el Cm se procede a la electrodeposición según el *Procedimiento G-01*. La medición se lleva a cabo por espectrometría alfa con un detector de ión implantado según el *Procedimiento Alfa-01.*

EQUIPAMIENTO

- Columnas de vidrio para intercambio iónico. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Materiales para electrodeposición, ver *Procedimiento G-01*
- Plancha calefactora

REACTIVOS

- Solución calibrada de Am 243 y Cm 242, como trazadores
- Resina aniónica Bio Rad™ AG 1 x 8 (100-200 mesh), forma Cl^-
- Resina catiónica Bio Rad™ AG 50W x 8 (200-400 mesh), forma H^+
- Resina aniónica Bio Rad™ AG 1 x 4 (100-200 mesh), forma Cl^-
- Ácido 2- etilhexilfosfórico (HDEHP) 0,9M
- Solución HNO_3 1M en CH_3OH 90%
- Solución de HCl 0,1M- NH_4SCN 0,5M en CH_3OH 80% (v/v)
- Solución de HCl 1,5M en CH_3OH 83%(v/v)
- H_2O_2 100 vol. p.a.
- HNO_3 (cc) p.a.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

1. Pesar aproximadamente 500 g de agua.

2. Agregar una cantidad conocida de trazador de Am 243 y de Cm 242, acorde a la actividad de la muestra. Ver *Procedimiento G-02.*
3. Si se sospecha la presencia de grandes cantidades de sales disueltas continuar con el punto 6.
4. Llevar la muestra a sequedad, mineralizar con gotas de HNO_3 y H_2O_2 repetidas veces.
5. Disolver el residuo con HCl 9M.
6. Precipitar con Fe^{3+} según lo expuesto en *Am-01,* paso 15 de Preparación de la muestra.

PROCEDIMIENTO

Continuar según el Procedimiento *Am-01.*

CÁLCULOS

Para el cálculo de la concentración de actividad se emplea directamente el factor de la relación entre los contajes del actínido a determinar y el trazador, por la actividad del trazador agregada y el factor gravimétrico. En el caso de aguas se suele expresar en Bq/L.

$$A_A \left({}^{Bq}\!/\!_{L} \right) = \frac{C_A \cdot A_T \cdot \delta \cdot 1000}{C_T \cdot M}$$

donde

A_A= Actividad del analito

C_A= Cuentas del analito (descontando el fondo)

C_T= Cuentas del trazador (descontando el fondo)

A_T= Actividad del trazador agregado (Bq)

δ = Densidad del agua (g/mL)

M = Masa del agua (g)

LÍMITE DE DETECCIÓN

El límite de detección se calcula considerando las cuentas del fondo en la zona del espectro correspondiente al americio y al curio.

Para una masa de muestra de 500 g, un detector de eficiencia 0,40 cpm/dpm y un rendimiento químico del 60%, el límite de detección de la técnica es de 0,40 mBq/L.

REFERENCIAS

1. Yamato, Journal of Radioanalytical Chemistry, Vol. 75, Nos 1-2 (1982) 265
2. S. Ballestra, R. Fukai, Talanta.Vol 30. No1. (1983) 45-48
3. E. Holm, S. Ballestra, R. Fukai, Talanta, Vol 26 (1979) 791-792
4. N.A. Talvite. Anal. Chem, (1972) 44, 280
5. EML Procedures Manual, HASL – 300, 28th Edition

3.1 Determinación de C 14 en aguas subterráneas y de superficie (^{14}C –01)

ANALITO: C 14 **TÉCNICA:** CENTELLEO LÍQUIDO

MATRIZ: AGUA **LÍMITE DE DETECCIÓN:** 0,068 mBq/L

APLICACIÓN

El presente procedimiento es aplicable al monitoreo de aguas subterráneas y de superficie en puntos de muestreo cercanos a trincheras de residuos radiactivos.

Se filtra 1 L de agua y se coloca en un destilador especialmente diseñado. Se realiza una destilación en medio ácido (H_2SO_4) con arrastre por N_2. Los tubos burbujeadores poseen 100-120 mL de NaOH 4M para retener el CO_2 destilado. Se transvasa el contenido de los tubos a un mismo vaso de precipitados y se rotulan como Carbono Inorgánico Disuelto (CID).

En el mismo balón se comienza una segunda destilación en condiciones más oxidantes ($HClO_4$, $K_2Cr_2O_7$, $K_2S_2O_7$) bajo corriente de O_2, usando nuevos tubos con solución de NaOH 4M. Al finalizar, los tubos colectores se transvasan a un mismo vaso de precipitados y se rotulan como Carbono Orgánico Disuelto (COD).

Se agrega a cada vaso igual volumen de solución de NH_4Cl 4M y luego $BaCl_2$, se deja decantar el precipitado, se filtra, lava, seca y pesa y se transfiere a un balón de 1 L conectado a dos tubos conteniendo Carbo-Sorb E que atrapa el CO_2 liberado por la adición de HCl cc. El Carbo-Sorb™ se mezcla con centellador Perma Flúor™ E^+ y la mezcla se mide por centelleo líquido.

EQUIPAMIENTO

- Sistema destilador de muestras para C 14. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Sistema calefactor con agitador magnético
- Equipo de centelleo líquido Packard™-2550 Tri-Carb TR/AB. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*

REACTIVOS

- Perma Flúor E^+-Packard™
- Carbo-Sorb™ E o Carbo-Sorb™.
- Nitrógeno calidad SE
- Oxígeno calidad 99,97%
- H_2SO_4 cc p.a.
- $HClO_4$ cc p.a.
- Solución NaOH 4M p.a.
- Solución de $BaCl_2$ 1M

- Solución de NH_4Cl 4M
- Solución de $K_2Cr_2O_7$ al 10% (p/v) p.a.
- Solución de $K_2S_2O_7$ al 4% (p/v)

PROCEDIMIENTO

1. Filtrar 1 L de agua y transvasar a un balón de destilación de tres bocas, conectado a un refrigerante y a dos frascos burbujeadores, ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento, Figura 1.*
2. Colocar en cada burbujeador 100-120 mL de solución de NaOH 4M. Una vez conectado el equipo, comenzar a agitar (400 rpm).
3. Agregar lentamente 40 mL de H_2SO_4 cc, tratando de evitar el burbujeo violento.
4. Una vez finalizada el agregado de ácido, comenzar a burbujear nitrógeno a un caudal de aproximadamente 50-60 mL/ min, durante 1,5 horas. Nota: Si es necesario se puede aumentar la agitación a 700 rpm.
5. Eliminar el burbujeo de N_2, apagar el agitador, desconectar los tubos con NaOH y transvasarlos a un vaso rotulado como carbono inorgánico disuelto (CID).
6. Reemplazar los tubos por otros dos conteniendo la misma cantidad de NaOH 4M. Conectarlos al destilador.
7. Agregar, a través de una ampolla de decantación: 20 mL de $HClO_4$ cc, 80 mL de $K_2Cr_2O_7$ 10% y 10 mL de solución de $K_2S_2O_7$ 4% recién preparada.
8. Agitar a aproximadamente 400 rpm y calentar la mezcla hasta ebullición durante 1,5 horas, burbujeando O_2 a un caudal de 50-60 mL /min. Nota: En este caso es difícil controlar el caudal debido al calentamiento, siendo necesario regularlo periódicamente desde la válvula de O_2.
9. Apagar el calefactor manteniendo la agitación y burbujeo de O_2. Desconectar los tubos del refrigerante y transvasarlos a un vaso rotulado como carbono orgánico disuelto (COD).
10. Agregar 200 mL de NH_4Cl 4M y 40 mL de $BaCl_2$ 1M en los vasos CID y COD.
11. Dejar decantar el precipitado durante 30 min. Filtrar usando filtros Goosh de porosidad Nº 3 ó 4 con ayuda de vacío.
12. Lavar el precipitado con agua destilada (5-10 veces con 5 mL c/u) y descartar el sobrenadante con los líquidos de lavado.
13. Secar el precipitado de $BaCO_3$ en estufa a 110°C durante 1 h y luego pesar el total.
14. Pesar aproximadamente 2 g del $BaCO_3$ seco y colocarlos en un balón destilador de 1 L conectado a dos burbujeadores con 10 mL de Carbo-Sorb™ E c/u, ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento Figura 2.* Agregar al balón 200 mL de agua destilada.
15. Con V_2 cerrada y V_1 abierta hacer vacío (400mm de Hg) y luego cerrar la válvula 1.
16. Agregar HCl cc lentamente y agitar hasta que la presión sea positiva. Nota: Si no se llega a presión positiva, comenzar a burbujear N_2.
17. Abrir la válvula 2 y comenzar a burbujear N_2 a un caudal de 10 mL/min. durante 1,5 horas.
18. Parar el burbujeo, cerrar la válvula 2 y desconectar los tubos colectores.
19. Trasvasar el contenido de los tubos colectores A y B, a sendos viales de centelleo y completar el volumen a 20 mL con Perma Flúor™ E+.
20. Agitar, esperar 1 hora y medir por centelleo líquido durante 100 min.

CÁLCULOS

$$A = \frac{dpm_1 \cdot m_t}{Eq \cdot 60 \cdot m_p \cdot V_M}$$

$$Eq = \frac{(dpm_1 - dpm_2)}{dpm_1} \cdot 100$$

$$LD = \frac{3{,}3\sqrt{cpm_b / t}}{Eq \cdot E_M \cdot 60 \cdot V_M}$$ para un intervalo de confianza del 95%

donde

A = actividad de la muestra (Bq/L).

dpm_1 = desintegraciones por minuto correspondientes al tubo A.

dpm_2 = desintegraciones por minuto correspondientes al tubo B.

cpm_b = cuentas por minuto del vial blanco.

V_M = volumen de la muestra de agua

Eq = eficiencia de retención del CO_2 en Carbo-Sorb.

m_t = masa total de precipitado.

m_p = masa pesada (aproximadamente 2 g) agregada al balón destilador.

E_M = Ef. de medición

Condiciones de Medición:

FOM: 1,14 10^7
Ventana: 3-22 keV
Fondo: 13,9 cpm
Eficiencia de medición: 30%

Nota 1: Para eficiencias de retención menores al 80% se debe aplicar el siguiente cálculo:

$$Eq = \frac{(dpm_1 - dpm_2)}{dpm_1 + dpm_2} \cdot 100$$

Nota 2: La eficiencia de medición es calculada por el equipo en forma automática, teniendo en cuenta la curva de quenching correspondiente.

Nota 3: La eficiencia de retención en NaOH en las condiciones de este procedimiento es del 99-100%.

REFERENCIAS

1. Rao, R.R. and Killey, R.W.D. “Quantitative Separation and Determination of Inorganic and Organic forms of Total Carbon and Radiocarbon in Natural Waters and Application at a Radiactive Waste Management Site”. AECL Research, Chalk River Laboratories, Environmental Research Branch, Chalk River, Ontario K0J 1J0, Canadá. December, 1993.

2. Matuszek, J.M. “Radiochemical Measurements for Evaluating Air Quality in the Vicinity of Low-Level Waste Burial Sites - The West Valley Experience”. NOUREG/CP - 0028 - Vol. 2.

3. Martin, J.E. “Carbon-14 in Low Level Radiactive Waste from two Nuclear Power Plants”. Health Physics Vol. 50, N°1 (January), pp. 57-64, 1986.

4.1. Determinación de Sr 90 en aguas ambientales (Sr-01)

ANALITO: ESTRONCIO

TÉCNICA: CERENKOV

MATRIZ: AGUA

LÍMITE DE DETECCIÓN: $1{,}65.10^{-2}$ Bq/L (1litro)
$3{,}5.10^{-4}$ Bq/L (60 litros)

APLICACIÓN

El presente procedimiento es aplicable a muestras de aguas ambientales como agua potable, de napa, ríos, etc.

Las muestras se evaporan a sequedad. El residuo resultante se lo trata con HNO_3 y HCl para eliminar los carbonatos y con H_2O_2 para eliminar los posibles restos de materia orgánica. Se lleva a sequedad y se retoma en HCl 1M. Se lleva a ebullición (cubriendo con un vidrio de reloj). Se filtra a través de un Büchner y se lava el filtro con varias porciones de HCl 1M. Se transfiere la solución a un vaso de 150 mL y queda así lista la muestra para su determinación. Para ello se agrega carrier de Y y ácido cítrico, se ajusta el pH con NH_3 y se transfiere a una ampolla de decantación. Se agregan 50 mL de HDEHP 10% (v/v) en tolueno, se agita y se registra fecha y hora de la separación del Y. Se descarta la fase acuosa y se reextrae el Y 90 de la fase orgánica con 50 mL de HNO_3 3M. Luego de separadas las fases, se vierte la fase acuosa en un vaso de centrífuga, se ajusta el pH a 10 con NH_3, se centrifuga, se descarta el sobrenadante y al precipitado se lo disuelve en HNO_3 cc. Se transfiere la solución a un vial de centelleo y se mide la radiación Cerenkov producida por la progenie del Sr 90.

Este procedimiento permite la determinación de Sr 90 (βmáx = 0,546 MeV) a través de su progenie, el Y 90 (βmáx = 2,27 MeV), en soluciones acuosas, midiendo la radiación Cerenkov. Esta medición es aplicable a partículas β con una energía máxima mayor de 0,263 MeV. Los nucleidos que emiten alfa y gamma no son detectados.

EQUIPAMIENTO Y MATERIALES

- Mufla con rampa programable
- Equipo de medición por centelleo líquido (Packard Tri-Carb 2770 TR/SL). Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Plancha calefactora de 100 a 700°C, regulable
- Equipo filtrante Büchner
- Papel de filtro Whatman GF/C
- Ampolla de decantación de 250 mL
- Papel pH
- Centrífuga

REACTIVOS ESPECIALES

- HNO_3 cc. p.a.
- Solución de HNO_3 3M

- HCl cc. p.a.
- Solución de HCl 1M
- Solución de HCl 0,1M
- H_2O_2 100 vol. p.a.
- Solución de Y carrier (10 mg/mL). Disolver 3,1 g de $Y(NO_3)_3$ en 100 mL de agua destilada
- Ácido cítrico
- NH_3 cc. p.a.
- Solución de HDEHP 10% en tolueno (v/v)
- Solución calibrada de Sr 90 / Y 90: 1800 dpm/g

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

1. Evaporar la muestra (desde 1L para muestras de napa, hasta 40 ó 60 L para aguas de río o potables) hasta reducirlo a 1L o menos.
2. Transvasar a un vaso de 1 L y llevar a sequedad sobre la plancha calefactora a 200-250°C, acidificando con HNO_3 y HCl para eliminar carbonatos. Tratar además con H_2O_2 para eliminar restos de materia orgánica.
3. Retomar con 50 mL de HCl 1M y hervir cubriendo con un vidrio de reloj hasta disolución total. Dejar enfriar.
4. Filtrar en un Büchner con papel de filtro Whatman GF / C. Lavar el filtro con 20 mL de HCl 1M en porciones.
5. Transferir la solución a un vaso de precipitados de 100 mL.

PROCEDIMIENTO

1. Agregar a la solución resultante, 1 mL de la solución carrier de Y (10 mg/mL) y 2 g de ácido cítrico.
2. Ajustar el pH a 1,0 - 2,0 con amoníaco. Transferir a una ampolla de decantación.
3. Agregar 50 mL de HDEHP 10% (v/v) en tolueno y agitar durante dos minutos aproximadamente.
4. Registrar fecha y hora de separación del Y.
5. Una vez separadas las fases, descartar la fase acuosa Nota: Verificar que no haya pérdida de fase orgánica durante el drenaje de la fase acuosa.
6. Lavar la fase orgánica, agitándola durante 2 minutos con 50 mL de HCl 0,1M. Descartar la fase acuosa.
7. Reextraer el Y 90 de la fase orgánica en 50 mL de HNO_3 3M, agitando durante 2 min. Separar las fases.
8. Verter la fase acuosa en un tubo de centrífuga de 100 mL y descartar la fase orgánica.
9. Ajustar el pH a 10 con NH_3 cc. Nota: Agregar NH_3 hasta la precipitación total del Y 90 como hidróxido.
10. Enfriar la solución y centrifugar a 1500 rpm durante 25 min.
11. Descartar el sobrenadante y disolver el precipitado en 2 mL de HNO_3 cc.
12. Transferir la solución a un vial de centelleo líquido, lavando meticulosamente con agua destilada. Completar el volumen del vial con agua destilada.
13. Medir la radiación Cerenkov contra blanco de reactivos, ver *CL-01*.

RENDIMIENTO QUÍMICO

El rendimiento químico se calcula en paralelo, para ello se realiza el siguiente procedimiento:

1. Se pesa una cantidad conocida de solución calibrada de Sr 90 / Y 90 y se le agregan 50 ml de HCl 1M en un vaso de precipitado de 150 mL.
2. Se trata la solución anterior siguiendo los pasos del procedimiento descrito anteriormente.
3. El cálculo del Rq se realiza según la siguiente fórmula:

$$R_q = \frac{(A_M - B).fd}{E_f \cdot A_i . e^{-\left(\frac{\ln 2}{T} \cdot t\right)}} \times 100$$

donde

A_M = actividad del patrón medida en cpm

A_i = actividad inicial del patrón (en dpm)

B = cpm del blanco

E_f = eficiencia de contaje

T = $T_{1/2}$ del Y 90

t = tiempo transcurrido desde la separación del Y de la muestra hasta el inicio de la medición

fd = factor de corrección por decaimiento durante la medición: $fd = \frac{\lambda \cdot Tm}{1 - e^{-\lambda \cdot Tm}}$

donde λ = constante de decaimiento del Y 90

Tm = tiempo de medición

El Rq de esta técnica es del 90%.

MEDICIÓN

Se utiliza el equipo de medición por centelleo líquido (Packard Tri-Carb 2770 TR/SL).

Tiempo de medición = 400 min.

Límite de detección (LD) =1,65 10^{-2} Bq /L, para muestras de agua de 1L 3,5 10^{-4} Bq/L, para muestras de agua de 40 a 60 L

Ventana = 0-30 keV

CÁLCULOS

La actividad de Sr 90 se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$A\left(\frac{Bq}{L}\right) = \frac{M - B}{R_q \cdot E_f \cdot F \cdot e^{-\left(\frac{\ln 2}{T} \cdot t\right)} \cdot P} \times fd$$

donde

M = cpm de la muestra

B = cpm del blanco

R_q = rendimiento químico

E_f = eficiencia de contaje

F = factor de conversión para pasar de dpm a Bq (F = 60)

T = $T_{1/2}$ del Y 90

fd = factor de corrección por decaimiento durante la medición: $$fd = \frac{\lambda \cdot Tm}{1 - e^{-\lambda \cdot Tm}}$$

donde λ = constante de decaimiento del Y 90

Tm = tiempo de medición

t = tiempo transcurrido desde la separación del Y de la muestra hasta el inicio de la medición

P = volumen en L

Para calcular la eficiencia, una vez medido el vial con la muestra, se le agrega una cantidad conocida de patrón Sr 90 / Y 90 (por pesada) y se lo vuelve a medir (aproximadamente 100 dpm):

$$E_f \left(\frac{cpm}{dpm} \right) = \frac{A_{MC} - A_M}{A_T} \cdot 100$$

donde

A_{MC} = actividad medida con el patrón agregado (cpm)

A_M = actividad medida antes de agregar el patrón (cpm)

A_T = actividad teórica agregada en el vial (dpm)

Eficiencia de contaje para la radiación Cerenkov (E_f) = 55 - 57% (cpm / dpm)

Para el cálculo del límite de detección se utiliza la siguiente ecuación:

$$LD = \frac{3{,}3\sqrt{B/T_b}}{R_q \cdot E_f \cdot F \cdot P \cdot e^{-\left(\frac{\ln 2}{T} \cdot t\right)}} \times fd$$

donde T_b es tiempo de medición del blanco, 3,3 es el factor para considerar 2σ y los otros parámetros son iguales a los mencionados anteriormente.

REFERENCIAS

1. Scarpitta, S.C. and Fisenne, I.M. “Cerenkov Counting as a Complement to Liquid Scintillation Counting”. Appl. Radiat. Isot., 47, 795-800 (1996).
2. Beninson, D.J.; Ramos, E; Touzet, R. “Radioestroncio y estroncio estable en los huesos y dietas de los niños”, Informe CNEA-149; Buenos Aires 1965.
3. Beninson, D.J.; Kramer, J; Mariano, E. “Radioestroncio en la leche”, Informe CNEA-47; Buenos Aires 1960.
4. Beninson, D.J.; Vander Elst, E.; Ramos, E. “Estudio de evolución de materiales radiactivos en el medio terreste”, Informe CNEA-133; Buenos Aires 1964.
5. Suomela, J; Walberg, L; Melin, J. “Methods for determination of Stronium-90 in food and enviromental samples by Cerenkov counting”; SSI-rapport 93-11; Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm 1993.
6. Kessler, M. “Liquid Scintillation Analysis”; Publication Nº 169-3052; Packard Instrument Co, 1989.

4.2. Determinación de Sr 90 en matrices sólidas (Sr-02)

ANALITO: ESTRONCIO **TÉCNICA:** CERENKOV

MATRIZ: VEGETAL, PESCADO **LÍMITE DE DETECCIÓN:** $9{,}1.10^{-3}$ Bq/10g de cenizas

APLICACIÓN

El presente procedimiento es aplicable a muestras ambientales sólidas como vegetales, pescado, etc.

Primero las muestras sólidas son mufladas para eliminar la materia orgánica. A las cenizas resultantes del procesamiento se las trata con HNO_3 y HCl para eliminar los carbonatos y con H_2O_2 para eliminar los posibles restos de materia orgánica. Luego se procede según *Sr-01.*

EQUIPAMIENTO Y MATERIALES

- Mufla con rampa programable
- Equipo de medición por centelleo líquido (Packard Tri-Carb 2770 TR/SL). Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Plancha calefactora de 100 – 700°C, regulable
- Equipo filtrante Büchner
- Papel de filtro Whatman GF/ C
- Ampolla de decantación de 250 mL
- Papel pH
- Centrífuga de pie, para laboratorio

REACTIVOS ESPECIALES

- HNO_3 cc. p.a.
- Solución de HNO_3 3M
- HCl cc. p.a.
- Solución de HCl 1M
- Solución de HCl 0,1M
- H_2O_2 100 vol. p.a.
- Solución de Y carrier (10 mg /mL). Disolver 3,1 g de $Y(NO_3)_3$ de máxima pureza en 100 mL de agua destilada
- Ácido cítrico
- NH_3 cc. p.a.
- Solución de HDEHP 10% en tolueno (v/v)

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

1. Pesar 1 kg o más de la matriz. Secar, moler la muestra y homogeneizar.
2. Muflar lentamente hasta 300°C y mantener aproximadamente 3 h a esa temperatura. Dejar enfriar.
3. Pesar 10 g de cenizas y muflar nuevamente a 600°C por 15 a 20 h, hasta obtener cenizas blancas. Dejar enfriar.
4. Pasar a un vaso de precipitados y tratar en plancha caliente (200-250°C) con HNO_3 y HCl para eliminar carbonatos y con H_2O_2 para eliminar los restos de materia orgánica.
5. Llevar a sequedad y retomar con 50 mL de HCl 1M. Hervir cubriendo con vidrio de reloj hasta disolver las cenizas. Dejar enfriar.
6. Filtrar en un Büchner con papel de filtro Whatman GF / C. Lavar el filtro con 20 mL de HCl 1M, en porciones. Transferir la solución a un vaso de precipitado de 100 mL.

PROCEDIMIENTO

Continuar según el *Procedimiento Sr-01.*

MEDICIÓN

Se utiliza el equipo de medición por centelleo líquido (Packard Tri-Carb 2770 TR/SL).

Tiempo de medición = 400 minutos

Eficiencia de contaje para la radiación Cerenkov (E_f) = 55 - 57% (cpm / dpm)

Límite de detección (LD) = 9,1 10^{-3} Bq/10g de cenizas

Rendimiento químico (R_q) = 90%

Ventana = 0-30 keV

CÁLCULOS

La actividad de Sr 90 se determina utilizando la siguiente ecuación:

$$A\left(\frac{Bq}{kgo'L}\right)=\frac{M-B}{R_q\cdot E_f\cdot F\cdot e^{-\left(\frac{\ln 2}{T}\cdot t\right)}\cdot P}\times fd$$

donde

M = cpm de la muestra

B = cpm del blanco

R_q = rendimiento químico

E_f = eficiencia de contaje

F = factor de conversión para pasar de dpm a Bq (F = 60)

T = $T_{1/2}$ del Y 90

P = peso de la muestra en kg

fd = factor de corrección por decaimiento durante la medición: $fd = \frac{\lambda\cdot Tm}{1-e^{-\lambda\cdot Tm}}$

donde

λ = constante de decaimiento del Y 90

Tm = tiempo de medición

t = tiempo transcurrido desde la separación del Y de la muestra hasta el inicio de la medición

El Rendimiento Químico y la Eficiencia se determinan mediante las expresiones aplicadas en *Procedimiento Sr-01.*

LÍMITE DE DETECCIÓN

El límite de detección se calcula empleando la fórmula de *Sr-01.*

Para 10 g de cenizas el límite de detección es de 9,1 10^{-3} Bq.

REFERENCIAS

1. Scarpitta, S.C. and Fisenne, I.M. “Cerenkov Counting as a Complement to Liquid Scintillation Counting”. Appl. Radiat. Isot., 47, 795-800 (1996).

2. Beninson, D.J.; Ramos, E; Touzet, R. “Radioestroncio y estroncio estable en los huesos y dietas de los niños”, Informe CNEA-149; Buenos Aires 1965.

3. Beninson, D.J.; Kramer, J; Mariano, E. “Radioestroncio en la leche”, Informe CNEA-47; Buenos Aires 1960.

4. Beninson, D.J.; Vander Elst, E.; Ramos, E Estudio de Evolución de Materiales Radiactivos en el Medio Terreste, Informe CNEA-133; Buenos Aires 1964.

5. Suomela, J; Walberg, L; Melin, J. “Methods for determination of Stronium-90 in food and enviromental samples by Cerenkov counting”; SSI-rapport 93-11; SwedishRadiation Protection Institute, Stockholm 1993.

6. Kessler, M. “Liquid Scintillation Analysis”; Publication Nº 169-3052; Packard Instrument Co, 1989.

4.3. Determinación de Sr 90 en leche (Sr-03)

ANALITO: ESTRONCIO

TÉCNICA: CERENKOV

MATRIZ: LECHE

LÍMITE DE DETECCIÓN: $1{,}4.10^{-2}$Bq/L

APLICACIÓN

El presente procedimiento es aplicable a muestras de leche.

A la muestra de leche se le agrega 4-5 mL de ácido acético por cada litro y se lleva a sequedad. A las cenizas resultantes del procesamiento se las trata con HNO_3 y HCl para eliminar los carbonatos y con H_2O_2 para eliminar los posibles restos de materia orgánica. Luego se procede según *Sr-01.*

EQUIPAMIENTO Y MATERIALES

- Mufla con rampa programable
- Equipo de medición por centelleo líquido (Packard Tri-Carb 2770 TR/SL). Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Plancha calefactora de 100 - 700°C, regulable
- Equipo filtrante Büchner
- Papel de filtro Whatman GF /C
- Ampolla de decantación de 250 Ml
- Papel pH
- Centrífuga

REACTIVOS ESPECIALES

- HNO_3 cc. p.a.
- Solución de HNO_3 3M
- HCl cc. p.a.
- Solución de HCl 1M
- Solución de HCl 0,1M
- Ácido acético cc.
- H_2O_2 100 vol. p.a.
- Solución de Y carrier (10 mg/mL). Disolver 3,1 g de $Y(NO_3)_3$ de máxima pureza en 100 mL de agua destilada
- Ácido cítrico
- NH_3 cc. p.a.
- Solución de HDEHP 10% en tolueno (v/v)

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

1. Homogeneizar la muestra (5 a 10 L) y evaporar agregando 4-5 mL de ácido acético cc. por cada litro de muestra.
2. Llevar a sequedad y tratar las cenizas como en *Sr-01.*

PROCEDIMIENTO

Continuar según el *Procedimiento Sr-01.*

MEDICIÓN

Se utiliza el equipo de medición por centelleo líquido Packard Tri-Carb 2770-TR/SL

Tiempo de medición = 400 min.

Eficiencia de contaje para la radiación Cerenkov (E_f) = 55-57% (cpm/dpm)

Límite de detección (LD) = 1,4 10^{-2}Bq/L

Rendimiento químico (R_q) = 90%

Ventana = 0-30 keV

CÁLCULOS

La actividad de Sr 90 se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$A\left(\frac{Bq}{kg}\right)=\frac{M-B}{R_q\cdot E_f\cdot F\cdot e^{-\left(\frac{\ln 2}{T}\cdot t\right)}\cdot P}\times fd$$

donde

M = cpm de la muestra

B = cpm del blanco

R_q = rendimiento químico

E_f = eficiencia de contaje

F = factor de conversión para pasar de dpm a Bq (F = 60)

T = $T_{1/2}$ del Y 90

fd = factor de corrección por decaimiento durante la medición: $fd = \frac{\lambda\cdot Tm}{1-e^{-\lambda\cdot Tm}}$

donde

λ = constante de decaimiento del Y 90

Tm = tiempo de medición

t = tiempo transcurrido desde la separación del Y de la muestra hasta el inicio de la medición

P = volumen en L

El Rendimiento Químico y la Eficiencia se determinan mediante la expresión aplicada en *Procedimiento Sr-01.*

LÍMITE DE DETECCIÓN

El límite de detección se calcula empleando la fórmula de *Sr-01.*

Para 10 L de leche el límite de detección es de 1,4 10^{-2}Bq/L.

REFERENCIAS

1. Scarpitta, S.C. and Fisenne, I.M. “Cerenkov Counting as a Complement to Liquid Scintillation Counting”. Appl. Radiat. Isot., 47, 795-800 (1996).
2. Beninson, D.J.; Ramos, E.; Touzet, R. “Radioestroncio y estroncio estable en los huesos y dietas de los niños”, Informe CNEA-149; Buenos Aires 1965.
3. Beninson, D.J.; Kramer, J.; Mariano, E. “Radioestroncio en la leche”, Informe CNEA-47; Buenos Aires 1960.
4. Beninson, D.J.; Vander Elst, E.; Ramos, E. “Estudio de evolución de materiales radiactivos en el medio terreste”, Informe CNEA-133; Buenos Aires 1964.
5. Suomela, J.; Walberg, L.; Melin, J. “Methods for determination of Stronium-90 in food and enviromental samples by Cerenkov counting”; SSI-rapport 93-11; SwedishRadiation Protection Institute, Stockholm 1993.
6. Kessler, M. “Liquid Scintillation Analysis”; Publication Nº 169-3052; Packard Instrument Co, 1989.

4.4. Determinación de Sr 90 en filtros (Sr-04)

ANALITO: ESTRONCIO

TÉCNICA: CERENKOV

MATRIZ: FILTROS

LÍMITE DE DETECCIÓN: $1{,}1.10^{-2}$ Bq/filtro

APLICACIÓN

El presente procedimiento es aplicable a muestras de filtros de fibra de vidrio y celulosa.

La muestra se mufla según una rampa de temperatura: 2 h a 200°C, luego se sube a 400°C y se mantiene a esa temperatura por 14 h y finalmente se lleva a 600°C por 12 h más. Luego se sigue según *Sr-01.*

EQUIPAMIENTO Y MATERIALES

- Mufla con rampa programable
- Equipo de medición por centelleo líquido (Packard Tri-Carb 2770 TR/SL). Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Plancha calefactora de 100–700°C, regulable
- Equipo filtrante Büchner
- Papel de filtro Whatman GF / C
- Ampolla de decantación de 250 mL
- Papel pH
- Centrífuga

REACTIVOS ESPECIALES

- HNO_3 cc. p.a.
- Solución de HNO_3 3M
- HCl cc. p.a.
- Solución de HCl 1M
- Solución de HCl 0,1M
- H_2O_2 100 vol. p.a.
- Solución de Y carrier (10 mg/mL). Disolver 3,1 g de $Y(NO_3)_3$ de máxima pureza en 100 mL de agua destilada
- Ácido cítrico

- NH_3 cc. p.a.
- Solución de HDEHP 10% en tolueno (v/v)

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

1. Muflar el filtro según rampa de temperatura: 2 h a 200°C, luego se sube a 400°C y se mantiene a esa temperatura por 14 h y finalmente se lleva a 600°C por 12 h.
2. Tratar las cenizas resultantes como en *Sr-01.*

PROCEDIMIENTO

Continuar según el *Procedimiento Sr-01.*

MEDICIÓN

Se utiliza el equipo de medición por centelleo líquido Packard Tri-Carb 2770-TR/SL

Tiempo de medición= 400 min.

Eficiencia de contaje para la radiación Cerenkov (E_f)= 55-57% (cpm/dpm)

Límite de detección (LD)= 1,1 10^{-2} Bq/filtro

Rendimiento químico (R_q)= 90%

Ventana= 0-30 keV

CÁLCULOS

La actividad de Sr 90 se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$A\left(\frac{Bq}{filtro}\right)=\frac{M-B}{R_q \cdot E_f \cdot F \cdot e^{-\left(\frac{\ln 2}{T} \cdot t\right)}} \times fd$$

donde:

M = cpm de la muestra

B = cpm del blanco

R_q = rendimiento químico

E_f = eficiencia de contaje

F = factor de conversión para pasar de dpm a Bq (F = 60)

T = $T_{1/2}$ del Y 90

t = tiempo transcurrido desde la separación del Y de la muestra hasta el inicio de la medición

fd = factor de corrección por decaimiento durante la medición: $fd = \frac{\lambda \cdot Tm}{1 - e^{-\lambda \cdot Tm}}$

donde: λ = constante de decaimiento del Y 90

Tm = tiempo de medición

El Rendimiento Químico y la Eficiencia se determinan mediante la expresión aplicada en *Procedimiento Sr-01.*

LÍMITE DE DETECCIÓN

El límite de detección se calcula empleando la fórmula de *Sr-01.* El límite de detección es de 1,1 10^{-2} Bq/filtro.

REFERENCIAS

1. Scarpitta, S.C. and Fisenne, I.M. “Cerenkov Counting as a Complement to Liquid Scintillation Counting”. Appl. Radiat. Isot., 47, 795-800 (1996).

2. Beninson, D.J.; Ramos, E; Touzet, R. “Radioestroncio y estroncio estable en los huesos y dietas de los niños”, Informe CNEA-149; Buenos Aires 1965.

3. Beninson, D.J.; Kramer, J; Mariano, E. “Radioestroncio en la leche”, Informe CNEA-47; Buenos Aires 1960.

4. Beninson, D.J.; Vander Elst, E.; Ramos, E. “Estudio de evolución de materiales radiactivos en el medio terreste”, Informe CNEA-133; Buenos Aires 1964.

5. Suomela, J; Walberg, L; Melin, J. “Methods for determination of Stronium-90 in food and enviromental samples by Cerenkov counting”; SSI-rapport 93-11; SwedishRadiation Protection Institute, Stockholm 1993.

6. Kessler, M. “Liquid Scintillation Analysis”; Publication Nº 169-3052; Packard Instrument Co, 1989.

5.1. Determinación de I 129 por activación neutrónica en agujas de conífera (I-01)

ANALITO: YODO 129 **TÉCNICA:** ACTIVACIÓN NEUTRÓNICA

MATRIZ: AGUJA DE CONÍFERA **LÍMITE DE DETECCIÓN:** 0,7 mBq/kg

APLICACIÓN

El presente procedimiento describe un método que permite purificar y medir bajos niveles de yodo 129 en vegetales y en particular en agujas de conífera. Esta matriz es la más apropiada ya que acumula y retiene aerosoles debido a su característica resinosa. Esta metodología se aplica en la vigilancia radiológica ambiental y en las salvaguardias.

El procedimiento consiste en una mineralización alcalina de la muestra, posterior purificación radioquímica pre-irradiación consistente de una destilación del yodo en medio ácido y colección en medio alcalino, extracción en solvente orgánico y reextracción a fase acuosa; luego una segunda destilación en medio ácido y simultánea adsorción del yodo en carbón activado. Éste se irradia bajo un flujo de neutrones térmicos para producir una reacción (n,γ) y convertir el I 129 en I 130, aumentando de esta manera la sensibilidad en la determinación en un factor mayor a 10 000. Luego de un tiempo de decaimiento de 1,5 - 2 días posteriores la irradiación, se realiza una purificación radioquímica post-irradiación, que consiste de una nueva destilación en medio ácido y colección en medio alcalino y una segunda extracción con solvente orgánico. Después de su reextracción a fase acuosa, se precipita como AgI y se mide por espectrometría gamma.

EQUIPAMIENTO

- Mufla programable, de 100°C hasta 700°C.
- Plancha calefactora.
- Equipo 1 utilizado en la primera destilación, ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Equipo 2 utilizado en la segunda destilación, ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Equipo refrigerante Lauda RM 6B, ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Reactor de investigación con flujo de neutrones térmicos de 2.10^{13} cm^{-2} s^{-1}
- Sistema de medición por espectrometría gama con detector de germanio hiperpuro coaxial. Ver *Gamma-01 (Espectrometría Gamma)*

REACTIVOS

- KOH p.a.
- H_2O bidestilada y desionizada
- Etanol absoluto, p.a.
- HNO_3 cc, p.a.
- H_2SO_4 cc, p.a.

- H_2O_2 100 vol. p.a.
- Solución de KOH 0,75M
- K_2SO_3, p.a.
- Molibdato de Amonio - $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$, p.a.
- Hidroxilamina, $NH_2OH.HCl$, p.a.
- KNO_2, p.a.
- CCl_4, p.a.
- Carbón activado RB 3
- Solución de $AgNO_3$, 5%
- Solución portadora de KI, 1 mg/mL
- Solución trazadora de I 131, 300 Bq/mL
- Solución patrón de I 129, 37,7789 mBq/g.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

1. Pesar entre 10 y 100 g de agujas de conífera.
2. Agregar KOH 1,5 veces el peso de la muestra y suficiente cantidad de una mezcla (1:1) etanol - agua hasta cubrir la muestra.
3. Agregar 1-2 mL de solución trazadora calibrada de I 131.
4. Agregar 0,5 g de K_2SO_3, para mantener el yodo en forma ioduro y eliminar las oxosales presentes.
5. Llevar a sequedad sobre una plancha calefactora, elevando gradualmente la temperatura hasta 400°C. Nota: Con sucesivos agregados de agua y utilizando una varilla, disgregar la muestra lo máximo posible.
6. Colocar la muestra en una mufla y calentar con el siguiente programa: rampa de temperatura hasta 450°C en 1 h, mantener a esa temperatura durante 4 horas, utilizar la rampa de temperatura anterior para llevar a 600°C y mantener a esa temperatura durante 6 h. De esta manera se mineraliza la muestra, obteniendo un residuo libre de materia orgánica y de partículas carbonosas.

PROCEDIMIENTO

A. 1ª Destilación

1. Trasvasar el residuo de la mineralización al equipo destilador 1 y agregar agua desionizada hasta cubrir el burbujeador.
2. Colocar en el 1^{er} tubo colector de yodo100 cm^3 de KOH 0,75M y 0,5 g de K_2SO_3, y en el 2^{do} 70 cm^3 de KOH 0,75M y 0,5 g de K_2SO_3.
3. Conectar el vacío y regularlo a un flujo de 12 L h^{-1}.
4. Neutralizar lentamente la solución alcalina agregando HNO_3 cc, aproximadamente 100 mL, y luego agregar 15 mL de exceso.
5. Comenzar a calentar hasta ebullición y mantener a esa temperatura por lo menos 2 horas.
6. Mantener el refrigerante entre 10-20°C para evitar que el yodo quede retenido en las paredes del refrigerante.
7. Agregar cada 15 min. desde el comienzo de la destilación, pequeños volúmenes de una solución de KNO_2 0,5M. Nota: En caso de ser necesario, se utiliza hidroxilamina para asegurar la reducción de las oxosales presentes a I_2.

8. Verificar el rendimiento de esta etapa realizando una medición gamma del 1er tubo colector. Nota: En caso de ser bajo el rendimiento, continuar la destilación a mayor temperatura y con agregados de Na_2SO_3, hidroxilamina y KNO_2, para asegurar que todas las posibles reacciones redox finalicen en I_2.

B. Extracción pre-irradiación

1. Trasvasar el contenido del 1er tubo colector a una ampolla de decantación. Agregar 50mL de Cl_4C y 3 mL de HNO_3 cc.
2. Tapar y agitar cuidadosamente. Nota: Reducir la presión interna abriendo la llave de la ampolla para evitar posibles accidentes.
3. Agregar 1 mL de KNO_2 0,5M y agitar.
4. Trasvasar la fase orgánica a otra ampolla de decantación y agregar agua desionizada hasta cubrir la fase orgánica.
5. Agregar 20 mL de Cl_4C y repetir los pasos 2, 3 y 4 utilizando siempre la misma ampolla para colectar la fase orgánica.
6. Trasvasar el contenido del 2do tubo colector a la 1er ampolla que contiene la fase acuosa del 1er tubo colector.
7. Agregar 80 mL de Cl^4C y 3 mL de HNO^3 cc o cantidad suficiente como para que el medio sea fuertemente ácido.
8. Repetir los pasos 2, 3, 4 y 5.
9. Agregar a la 2da ampolla conteniendo la fase orgánica, una cantidad equivalente de agua desionizada y 0,5 g de K_2SO_3.
10. Agitar fuertemente, dejar reposar y descartar la fase orgánica.
11. Verificar el rendimiento, realizando una medición gamma de la fase acuosa.

C. 2ª Destilación

1. Trasvasar la fase acuosa al equipo destilador 2, agregar 1 g de $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$ y agua desionizada hasta cubrir el burbujeador.
2. Colocar en la celda de adsorción de yodo 0,5 g de carbón activado.
3. Conectar el vacío y regularlo a un flujo de 12 L h^{-1}.
4. Agregar lentamente, aproximadamente 25 mL de H_2SO_4 cc.
5. Comenzar a calentar hasta ebullición, aproximadamente 400°C, y mantener a esa temperatura por lo menos 2 horas.
6. Mantener el refrigerante entre 10-20°C para evitar que el yodo quede retenido en las paredes del refrigerante.
7. Agregar cada 15 minutos desde el comienzo de la destilación, pequeños volúmenes de H_2O_2 100 vol. Nota: En caso de ser necesario, se utiliza hidroxilamina para asegurar la reducción de las oxosales presentes a yodo.
8. Verificar el rendimiento de esta etapa realizando una medición gamma del carbón activado. Nota: En caso de ser bajo el rendimiento, continuar la destilación a mayor temperatura y con agregados de Na_2SO_3, hidroxilamina y H_2O_2, para asegurar que todas las posibles reacciones redox finalicen en yodo.

D. Irradiación Neutrónica

1. Colocar el carbón activado en un tubo porta muestra de polietileno e introducirlo en una cápsula de aluminio.
2. Sellar la cápsula y comprobar la hermeticidad sumergiéndola en N_2 líquido.
3. Irradiar. Las condiciones de irradiación requieren una tasa de flujo de neutrones térmicos 2 10^{13} cm^{-2}. s^{-1}, durante un período de 2 horas. Nota: Las irradiaciones se realizan en el reactor RA 3, del Centro Atómico Ezeiza (CAE).

E. Destilación post-irradiación

1. Después de un período de decaimiento de 48 horas, abrir el tubo porta muestra en un laboratorio equipado con campanas y blindajes para asegurar condiciones de trabajo controladas. Nota: Es necesario tomar medidas de protección, debido a los niveles de exposición de la matriz dados fundamentalmente por la generación de Na 24 ($T_{1/2}$ = 15 horas, Eγ = 2 MeV).
2. Introducir el carbón irradiado en el equipo destilador 1. Agregar 1 g de $(NH_4)_2MoO_4$ y suficiente agua desionizada. Las condiciones de trabajo del equipo son mismas que las usadas en la 1er destilación.
3. Agregar 2 mL de solución de KI, como portador
4. Agregar 25 mL de H_2SO_4 cc para obtener una fuerte acidez. Realizar la destilación durante 1-2 h, con agregados continuos de pequeñas cantidades de H_2O_2 100 vol. Las sustancias volátiles presentes también se destilan, siendo los principales interferentes de la posterior medición por espectrometría gamma. Nota: En caso de ser necesario, se utiliza hidroxilamina para asegurar la reducción de las oxosales presentes a yodo.
5. Verificar el rendimiento de esta etapa realizando una medición gamma del 1er tubo colector. Nota: En caso de ser bajo el rendimiento, continuar la destilación a mayor temperatura y con agregados de Na_2SO_3, hidroxilamina y H_2O_2, para asegurar que todas las posibles reacciones redox finalicen en yodo.

F. Extracción post-irradiación

1. Repetir los pasos 1 a 11 del ítem B. Extracción pre-irradiación.
2. Agregar 1 mL de HNO3 cc y 1 mL de solución de AgNO3 5%, agitando con varilla.
3. Dejar reposar el precipitado y filtrar al vacío, a través de un filtro de fibra de vidrio GF/C de 4 cm de diámetro.
4. Lavar el precipitado con etanol p.a. y dejar secar.

MEDICIÓN

1. Medir la emisión de radiación gamma del precipitado de Ag ^{130}I, previamente sellado en bolsa de polietileno, utilizando un detector de germanio hiperpuro coaxial, 25% de eficiencia relativa.
2. Realizar la medición durante un tiempo de 6 horas. Nota: El tiempo de medición, para muestras ambientales, varía de 2 a 6 horas, dependiendo de la actividad y el fondo de radiación presentes.

MEDICIÓN DEL FLUJO NEUTRÓNICO

Para realizar los cálculos es necesario conocer con precisión el flujo de neutrones al cual se somete la muestra. Para ello:

1. Colocar en un tubo plástico 0,2 mL de la solución patrón de I 129.
2. Sellar el tubo e irradiar conjuntamente con la muestra en la misma cápsula de aluminio.
3. Durante el procesamiento de la muestra, abrir el tubo plástico y verter el contenido en un vaso de precipitado y enjuagar cuidadosamente con agua desionizada.
4. Agregar 2 mL de solución de KI como portador y repetir los pasos 2 a 4 de F.
5. Medir la emisión de radiación gamma del precipitado de $Ag^{130}I$, previamente sellado en bolsa de polietileno, durante un período de tiempo que varía de 2 a 3 horas, utilizando un detector de germanio hiperpuro coaxial, 25% de eficiencia relativa.

CÁLCULOS

1. Actividad de I 130

Utilizar para el cálculo de la actividad del I 130, la energía de emisión de 536 keV, que no presenta interferencias.

2. Rendimiento Total

Utilizar el pico de I 131 ($E\gamma$ = 364,5 keV) presente para calcular el rendimiento total del proceso.

$$R\% = \frac{A_{I-131}\ final}{A_{I-131}\ inicial \cdot e^{-\lambda_{131} \cdot (tf - ti)}} \cdot 100$$

donde

$A_{I\text{-}131}$ *final*	= actividad medida de I 131 (Bq)
$A_{I\text{-}131}$ *inicial*	= actividad agregada de I 131 (Bq)
λ_{131}	= constante de semidesintegración del I 131 = ln2 / 8,02 días
tf –ti	= tiempo transcurrido entre el momento en que se realizó la medición de la $A_{I\ 131}$ *inicial* agregada y el comienzo de la medición (días)

3. Límite de detección

Utilizar el método RISO, que presenta un 99% de confianza (3σ). El límite de detección alcanzado para I 129 aplicando este procedimiento es de 0,7 mBq/kg.

$$LD = 4{,}65 \cdot \frac{\sqrt{B}}{LT} \cdot \frac{1}{\varepsilon_E \cdot \gamma_d}$$

donde

- *LD* = límite de detección (Bq)
- *B* = fondo (cuentas. s^{-1})
- *LT* = tiempo vivo de medición (s)
- ε_E = eficiencia del detector a la energía E
- γ_d = gammas / desintegración para la energía E del nucleido

4. Actividad de I 129

$$A_{I-129} = \frac{A_{I-130} \cdot \lambda_{129} \cdot 1000 / \sigma \cdot \phi \cdot \left(1 - e^{-\lambda_{130} \cdot t_{irr}}\right)}{P \cdot e^{-\lambda_{130} \cdot t_d}} \cdot \frac{100}{R\%}$$

donde

A_{I-129} = actividad calculada de I 129 (mBq/kg)

A_{I-130} = actividad medida de I 130 (Bq)

λ_{129} = constante de semidesintegración del I 129 = ln2 / $1{,}57.10^7$ años

λ_{130} = constante de semidesintegración del I 130 = ln2 / 12,36 horas

σ = sección eficaz ($2{,}9249.10^{-23}$ cm^2)

ϕ = flujo de neutrones térmicos ($\cong 2.10^{13}$ cm^{-2} s^{-1})

t_{irr} = tiempo de irradiación (horas)

t_d = tiempo de decaimiento (horas)

P = peso de la muestra (kg)

$R\%$ = rendimiento químico total del método

5. Flujo neutrónico

$$\phi = \frac{A_{I-130} \cdot \lambda_{129} / \sigma \cdot Ap_{I-129} \cdot \left(1 - e^{-\lambda_{130} \cdot t_{irr}}\right)}{e^{-\lambda_{130} \cdot t_d}}$$

donde

ϕ = flujo de neutrones térmicos (cm^{-2} s^{-1})

Ap_{I-129} = actividad agregada de solución patrón de I 129 (Bq)

Los demás parámetros son iguales a los definidos anteriormente.

REFERENCIAS

1. Handl, J.; Kühn, W. (1980). "Activation analytical determination of ^{129}I in bovine thyroid gland". J. Radioanal. Chem., Vol. 56, p. 213.

2. Muramatsu, Y. et al. (1984). "Neutron activation analysis of ^{129}I and ^{127}I in environmental samples". J. Radioanal. and Nuclear Chem., Articles, Vol. 83, N° 2.

3. Muramatsu, Y.; Yoshida, S. (1995). "Determination of ^{129}I and ^{127}I in environmental samples by neutron activation analysis and inductively coupled plasma mass spectrometry". J. Radioanal. and Nuclear Chem., Articles, Vol. 197, N° 1.

4. Rosenberg, R. (1993) "Non-conventional measurement techniques for the determination of some long-lived radionucleides produced in nuclear fuel". J. Radioanal. and Nuclear Chem., Articles, Vol. 171, N°. 2.

5. Quintana, E.E., Thyssen, S.M. (2000) "Determination of ^{129}I in conifer samples around nuclear facilities in Argentina". J. Radioanal. and Nuclear Chem., Vol. 245, N° 3.

6.1. Determinación de plutonio en aguas (Pu-01)

ANALITO: PLUTONIO

TÉCNICA: ESPECTROMETRÍA ALFA

MATRIZ: AGUA

LÍMITE DE DETECCIÓN: 0,20 mBq/Litro

APLICACIÓN

Este procedimiento permite determinar la actividad de plutonio en muestras de agua de distinta procedencia (agua de mar, agua de lago, agua potable, agua de napa, etc.).

La muestra de agua es tratada con HNO_3 cc sobre plancha calefactora y su volumen es reducido hasta casi sequedad. Se mineraliza con pequeños agregados de HNO_3 cc y H_2O_2 (100 volúmenes).

El residuo se disuelve en medio nítrico y el plutonio (junto con otros actínidos) se coprecipitan con $Fe(OH)_3$. Este precipitado se disuelve en medio nítrico y se siembra en columna aniónica en HNO_3 8M. El plutonio se eluye con HCl-NH_2OH 8M. Se electrodeposita según el *Procedimiento G-01* y se mide por espectrometría alfa según el *Procedimiento Alfa-01.*

EQUIPAMIENTO

- Sistema de espectrometría alfa. Ver *Alfa-01*
- Plancha Calefactora.
- Materiales para electrodeposición. Ver *Procedimiento G-01*
- Columnas de vidrio para intercambio iónico. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*

REACTIVOS

- Solución calibrada de Pu 242, como trazador
- Resina aniónica BIO-RAD™ AG 1 x 8 (100-200 mesh), forma Cl^-
- Resina aniónica BIO-RAD™ AG 1 x 8 (50-100 mesh), preacondicionada con una solución de HNO_3 1M -CH_3OH (90%)
- Solución de Fe^{3+}, como portador, 10 mg/mL
- Solución de HCl 0,2M + NH2OH 0,7% P/V
- $NaNO_2$ (s) p.a.
- H_2O_2 100 volúmenes p.a.
- CH_3OH p.a.
- NH_4OH p.a.

- HCl 5M
- HNO_3 8M

PROCEDIMIENTO

1. Tomar 1000 mL de muestra de agua en un vaso de precipitado.
2. Agregar una cantidad conocida de trazador Pu 242.
3. Agregar 100 mL de HNO_3 cc y calentar a reflujo sobre plancha calefactora durante 2 horas.
4. Evaporar la solución hasta casi sequedad.
5. Mineralizar con sucesivos agregados de HNO_3 cc y H_2O_2 (100 volúmenes).
6. Llevar a sequedad y disolver el residuo en 100 mL de HNO_3 5M u 8M. De ser necesario filtrar a través de papel de filtro Whatman™ 42.
7. Agregar a la solución 1 mL de la solución de Fe^{3+}.
8. Llevar a pH 4 con NH_4OH para precipitar el $Fe(OH)_3$.
9. Dejar en digestión 1 hora a 70°C y luego toda la noche a temperatura ambiente.
10. Filtrar el precipitado de $Fe(OH)_3$ a través de papel de filtro Whatman™ 42.
11. Disolver el precipitado en HCl 5M y lavar el papel de filtro con HCl 5M hasta que desaparezca el color amarillo totalmente.
12. Llevar a sequedad la solución de Fe^{3+} conteniendo el plutonio (y otros actínidos si los hubiere) y disolver en HNO_3 8M en el menor volumen posible (aprox. 10-15 mL).
13. Agregar 0,2 g de $NaNO_2$, dejar reposar 15 minutos y calentar hasta eliminación de vapores nitrosos. Dejar enfriar.
14. Sembrar la solución anterior en la columna aniónica BIO-RAD™ AG 1 x 8 (100-200 mesh) forma Cl^-, acondicionada con HNO_3 8M. Ver *Procedimiento G-03*.
15. Lavar el vaso de precipitados, conteniendo la solución de plutonio, con 4 porciones de 2-3 mL de HNO_3 8M y sembrar en la columna.
16. Descartar el eluido conteniendo U y Am (si hubiesen).
17. Lavar la columna con 2 porciones de 40 mL de HNO_3 8M. Descartar esta fracción.
18. Eluir el Pu con 200 mL de HCl (0,2 M) + NH_2OH (0,7% P/V).
19. Llevar el eluido a sequedad y mineralizar con sucesivos agregados de HNO_3 cc y H_2O_2 (100 vol).
20. Electrodepositar el plutonio según *Procedimiento G-01*.
21. Medir por espectrometría alfa, según *Procedimiento Alfa-01*.

CÁLCULOS

Para el cálculo de la concentración de actividad de plutonio en aguas se utiliza la siguiente expresión:

$$A=\frac{C_A \cdot A_T}{C_T \cdot V}$$

donde

A = Actividad de Pu (Bq/L)

C_A = Cuentas del analito (Pu 238, Pu 239)

C_T = Cuentas del trazador (Pu 242)

A_T = Actividad agregada del trazador (Bq)

V = volumen de la muestra (L)

LÍMITE DE DETECCIÓN

$$LD = \frac{3{,}3.[\ CF\ /\ (tF)^2\ ]^{1/2}}{E\ .\ 60\ (dpm/Bq)\ .V\ .\ Rq}$$

donde

C_F = cuentas del fondo

t_F = tiempo de medición del fondo (min)

E = eficiencia de medición (cpm/dpm)

R_q = Rendimiento químico

V = volumen de la muestra (L)

Con un volumen de muestra de 1 litro, un detector de eficiencia 0,40 cpm/dpm y un rendimiento químico del 70%, el límite de detección de la técnica es de 0,20 mBq/L, para un nivel de confianza del 95%.

REFERENCIAS

EML Procedures Manual, HASL – 300, 28th Edition.

6.2. Determinación de plutonio en filtros por espectrometría alfa (Pu-02)

ANALITO: PLUTONIO **TÉCNICA:** ESPECTROMETRÍA ALFA

MATRIZ: FILTRO **LÍMITE DE DETECCIÓN:** 0,20 mBq/Litro

APLICACIÓN

Este procedimiento permite determinar la actividad de plutonio en muestras de filtros de acetato de celulosa, papel y fibra de vidrio.

El tratamiento previo se realiza según el *Procedimiento AT-01* y *AT-02*. La muestra se redisuelve en HNO_3 8M y se siembra en una columna aniónica. Luego se continúa según el *Procedimiento Pu-01.*

EQUIPAMIENTO

- Sistema de espectrometría alfa. Ver *Alfa-01*
- Plancha calefactora
- Materiales para electrodeposición. Ver *Procedimiento G-01*
- Columnas de vidrio para intercambio iónico. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*

REACTIVOS

- Solución calibrada de Pu 242, como trazador.
- Resina aniónica BIO-RAD™ AG 1 x 8 (100-200 mesh), forma Cl^-
- Resina aniónica BIO-RAD™ AG 1 x 8 (50-100 mesh), preacondicionada con solución de HNO_3 1M-CH_3OH (90%)
- Solución de Fe^{3+}, como portador, 10 mg/mL
- Solución de HCl 0,2M + NH_2OH 0,7% P / V
- $NaNO_2$ (s)
- H_2O_2 100 volúmenes p.a.
- CH_3OH p.a.
- HNO_3 8M

PROCEDIMIENTO

1. Agregar una cantidad conocida de trazador Pu 242.
2. Para el tratamiento previo aplicar el *Procedimiento AT-01: pasos 1 a 4,* en caso de filtros de papel y de acetato de celulosa, o el *Procedimiento AT-02: pasos 1 a 3,* en filtros de fibra de vidrio.

3. Redisolver el residuo en HNO_3 8M.
4. Continuar con el *Procedimiento Pu-01: desde paso 13.*

CÁLCULOS

Para el cálculo de la concentración de actividad de plutonio en filtro, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Pu\left(Bq/Filtro\right)=\frac{C_A \cdot A_T}{C_T}$$

donde

C_A = Cuentas del analito (Pu 238, Pu 239)

C_T = Cuentas del trazador (Pu 242)

A_T = Actividad agregada del trazador (Bq)

LÍMITE DE DETECCIÓN

$$LD=\frac{3{,}3\times\sqrt{fondo}}{tf\times Ef\times Rq\times 60}$$

Para un fondo de 3 cuentas por día, una eficiencia del 4% y un rendimiento químico del 70%, el límite de detección es de 0,20 mBq/filtro.

REFERENCIAS

EML Procedures Manual, HASL – 300, 28th Edition

6.3. Determinación de plutonio en vegetales (Pu-03)

ANALITO: PLUTONIO

TÉCNICA: ESPECTROMETRÍA ALFA

MATRIZ: VEGETALES

LÍMITE DE DETECCIÓN: 20 mBq/kg

APLICACIÓN

Este procedimiento permite determinar la actividad de plutonio en vegetales. La muestra se transforma en cenizas en una mufla con rampa de temperatura. Luego el residuo se disuelve en HNO_3 y HCl, y de ser necesario, con HF para la eliminación de la sílice.

Para la separación del uranio del resto de los actínidos (si los hubiere), se utiliza una resina de intercambio aniónico. Una vez separado el plutonio, se procede a la electrodeposición según el *Procedimiento G-01*. La medición se realiza por espectrometría alfa según el *Procedimiento Alfa-01*.

EQUIPAMIENTO

- Sistema de espectrometría alfa. Ver *Alfa-01*
- Plancha Calefactora
- Materiales para electrodeposición. Ver *Procedimiento G-01*
- Columnas de vidrio para intercambio iónico. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*

REACTIVOS

- Solución calibrada de Pu 242, como trazador
- Resina aniónica BIO-RAD™ AG 1 x 8 (100-200 mesh), forma Cl^-
- Solución de NH_2OH (0,7% P/V) en HCl - 0,2M
- $NaNO_2$ (s) p.a.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

1. Preparar la muestra según *Procedimiento Am-02*, hasta el punto 6.
2. Llevar a sequedad y retomar el residuo final en HNO_3 8M.
3. Agregar 0,2 g de $NaNO_2$, dejar reposar 15 minutos y calentar hasta eliminación de vapores nitrosos. Dejar enfriar.

PROCEDIMIENTO

1. Sembrar en la columna aniónica BIO-RAD™ AG 1 x 8 (100-200 mesh) previamente acondicionada con HNO_3 8M, la solución proveniente de la disolución del vegetal en HNO_3 8M. Ver *Procedimiento G-03*.
2. Lavar la columna con 80 mL de HNO_3 8M.
3. Descartar los líquidos de siembra y lavado.
4. Eluir el plutonio con 200 mL de HCl-0,2M + NH_2OH (0,7% P/V).
5. Llevar a sequedad, mineralizar con HNO_3 y H_2O_2 (100 vol.).
6. Electrodepositar según el *Procedimiento G-01*.
7. Medir por espectrometría alfa con detector de ión implantado, según *Procedimiento Alfa-01*.

CÁLCULOS

Para el cálculo de la concentración de plutonio en vegetales, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Pu\left(Bq/kg\right)=\frac{C_A \cdot A_T}{C_T \cdot M}\cdot 1000$$

donde

C_A = Cuentas del analito (Pu 238, Pu 239)

C_T = Cuentas del trazador (Pu 242)

A_T = Actividad agregada del trazador (Bq)

M = Masa del vegetal (g)

LÍMITE DE DETECCIÓN

$$LD=\frac{3{,}3\times\sqrt{fondo}}{tf\times Ef\times Rq\times 60\times m}\times 1000$$

Para un fondo de 3 cuentas por día, una eficiencia del 4%, una masa de vegetal de 10 g y un rendimiento químico del 70%, el límite de detección es de 20 mBq/kg.

REFERENCIAS

EML Procedures Manual, HASL – 300, 28th Edition

6.4. Determinación de plutonio en suelos y sedimentos por espectrometría alfa (Pu-04)

ANALITO: PLUTONIO

TÉCNICA: ESPECTROMETRÍA ALFA

MATRIZ: SUELO

LÍMITE DE DETECCIÓN: 10 mBq/kg

APLICACIÓN

La presente técnica permite determinar la actividad de plutonio en suelos y sedimentos. La muestra se mufla para eliminar la materia orgánica y luego se procede a una lixiviación con agua regia y con una mezcla de HNO_3 + HF (1+1). Los lixiviados se llevan casi a sequedad y se mineralizan con H_2O_2 y HNO_3 cc. El residuo se disuelve en HNO_3 4M y el Pu se coprecipita primero con oxalato de calcio y luego con hidróxido férrico. El precipitado se disuelve en HNO_3 8M.

Para la separación del plutonio del resto de los actínidos (si los hubiese) se utiliza resina de intercambio aniónico. Una vez separado el plutonio se procede a la electrodeposición según *Procedimiento G-01*. La medición se realiza por espectrometría alfa según *Procedimiento Alfa-01*.

EQUIPAMIENTO

- Columna de vidrio para intercambio iónico. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Mufla con rampa programable, de 100-700°C
- Materiales para electrodeposición. Ver *Procedimiento G-01*
- Plancha calefactora, con agitación

REACTIVOS

- Solución calibrada de Pu 242, como trazador
- Resina aniónica BIO-RAD™ AG 1 x 8 (100-200 mesh), forma Cl^-
- $NaNO_2$ (s) p.a.
- Solución de Fe^{+3} como portador, 10 mg/ml
- Solución de NH_2OH (0,7% P/V) en HCl 0,2M

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

1. Pesar por duplicado aproximadamente 20 g de muestra en cápsula de porcelana.
2. Agregar una cantidad conocida de trazador.
3. Tratar en mufla a 100°C por 24 horas y luego elevar la temperatura en rangos de 100°C cada 3 horas hasta llegar a los 550°C. Esto permite en esta primera etapa, eliminar la

humedad y materiales volátiles, para finalmente destruir la materia orgánica. En algunos casos son necesarios tratamientos con NH_4NO_3.

4. Retomar cuidadosamente el residuo con HNO_3 50%, trasvasándolas a un recipiente plástico de centrífuga de 250 mL.

5. Agregar 90 mL de agua regia HNO_3 + HCl (1+3) y mantener la solución con agitación y calor durante toda la noche.

6. Centrifugar y separar el sobrenadante por decantación recibiéndolo en un vaso de 1 L de Teflon™ con base grafitada.

7. Repetir el ataque ácido, la centrifugación y la decantación dos veces más, combinando los sobrenadantes en el mismo vaso de Teflon™.

8. Tratar al residuo del centrifugado durante 3 horas con 50 mL de HNO_3 + HF (1+1) con agitación y calor.

9. Centrifugar y agregar el sobrenadante al vaso de Teflon™. Repetir esta operación dos veces. A medida que se van retomando las soluciones de lixiviación, se van evaporando sobre plancha calefactora hasta llegar casi a sequedad.

10. Mineralizar con H_2O_2 gota a gota y tratar con HCl hasta la eliminación total del HF.

11. Agregar 3 g de H_3BO_3.

12. Llevar a sequedad y retomar en 250 mL de HNO_3 4M.

13. Agregar 50 g de ácido oxálico por cada litro de solución y 200 mg de $Ca(NO_3)_2$ cada 250 mL de solución.

14. Precipitar con NH_4OH a pH 2.

15. Mantener con calor y agitación durante 4 horas. Dejar reposar toda la noche.

16. Trasvasar el contenido cuantitativamente a un recipiente de plástico de centrífuga, de 250 mL de capacidad. Centrifugar.

17. Trasvasar las aguas madres a un vaso de precipitado de vidrio, acidificar levemente y agregar $Ca(NO_3)_2$. (Mantener el precipitado en el mismo recipiente de centrífuga).

18. Repetir la precipitación y centrifugar en la misma botella utilizada en 16.

19. Descartar las aguas madres.

20. Disolver el precipitado de oxalato de Ca con 30-40 mL de HNO_3 cc. Trasvasar la solución a un vaso de vidrio y llevar a sequedad.

21. Dejar aproximadamente 5-6 horas sobre plancha calefactora a 400°C hasta total descomposición del oxalato.

22. Disolver el residuo con HNO_3 diluido y agregar 20 mg de Fe^{3+}.

23. Precipitar el Fe $(OH)_3$ a pH 4 con NH_4OH. El plutonio (y otros actínidos) coprecipitan con el Fe.

24. Filtrar en el mismo filtro anterior y lavar con agua caliente y NH_4OH diluido.

25. Descartar las aguas madres.

26. Disolver el precipitado en el mismo filtro, con HNO_3 8M.

PROCEDIMIENTO

1. Agregar 0,2 g de $NaNO_2$ a la solución anterior, dejar reposar 15 minutos y calentar hasta eliminación de vapores nitrosos.
2. Dejar enfriar.
3. Sembrar en la columna aniónica BIO-RAD™ AG 1 x 8 (100-200 mesh), previamente acondicionada con HNO_3 8M según *Procedimiento G-03*, la solución proveniente de la preparación de la muestra.
4. Lavar la columna con 80 mL de HNO_3 8M.
5. Descartar los líquidos de siembra y lavado.
6. Eluir el plutonio con 10 mL de HCl 0,2 M y 200 mL de NH_2OH (0,7% P/V) + HCl (0,2M).
7. Llevar a sequedad, mineralizar con HNO_3 y H_2O_2 (100 volúmenes).
8. Electrodepositar según el *Procedimiento G-01.*
9. Medir por espectrometría alfa con detector de ión implantado, según *Procedimiento Alfa-01*.

CÁLCULOS

Para el cálculo de la concentración de actividad de plutonio en suelos y sedimentos, se utiliza la siguiente expresión:

$$Pu\left(Bq/kg\right)=\frac{C_A \cdot A_T}{C_T \cdot M}\cdot 1000$$

donde

C_A = Cuentas del analito (Pu 238, Pu 239)

C_T = Cuentas del trazador (Pu 242)

A_T = Actividad agregada del trazador (Bq)

M = masa del suelo (g)

LÍMITE DE DETECCIÓN

Para una masa de muestra de 20 g, un detector de eficiencia 0,40 cpm/dpm y un rendimiento químico del 60%, el límite de detección de la técnica es de 10 mBq/kg.

REFERENCIAS

EML Procedures Manual, HASL – 300, 28th Edition

7.1. Determinación de radio 226 en aguas por emanación de radón 222 (Ra-01)

ANALITO: RADIO 226 **TÉCNICA:** CENTELLEO LÍQUIDO

MATRIZ: AGUA **LÍMITE DE DETECCIÓN:** 2,2 mBq/L

APLICACIÓN

Este procedimiento es aplicable a todo tipo de aguas (potable, de pozo, etc.) y a soluciones homogéneas.

El Ra 226 se coprecipita con $BaSO_4$ en medio ácido. El precipitado se disuelve con Na_2H_2EDTA en medio básico. La actividad de Ra 226 en fase acuosa se estima a través de la medición del Rn 222 en equilibrio. Al cabo de 22,8 días el Rn 222 llega al equilibrio con el Ra 226. Luego de separar las fases y antes de medir por centelleo líquido, se espera aproximadamente 30 min, para eliminar interferencias como la luminiscencia y el Rn 220 ($t_{1/2}$= 54,4 s). Una vez separada la fase orgánica se debe medir lo antes posible, ya que el $t_{1/2}$ del Rn 222 es de 3,8 días.

EQUIPAMIENTO

- Equipo filtrante Büchner con filtro tipo SS banda azul y kitasatos de 1000 mL.
- Centrífuga de pie con capacidad para recipientes de 250 mL.
- Agitador magnético con calefacción, y barra magnética.
- Plancha calefactora.
- Contador de centelleo líquido Packard™ 2550 TR/AB. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Vial de centelleo con cánula. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Recipientes de vidrio Pyrex de 250 mL de base redondeada (tipo mamadera).

REACTIVOS

- H_2SO_4 cc, p.a.
- Solución de $BaCl_2$: disolver 2,1 g de $BaCl_2.2H_2O$ p.a. en 100 mL de H_2O destilada
- Solución centelleadora: 0,05 g POPOP [1,4-bis-2-(5-feniloxazolil)-benceno], 5 g PPO [2,5-difeniloxazol] y tolueno grado centelleo c.s.p. 1000 mL
- Solución de ácido etilen-diamino-tetracético, sal disódica Na_2H_2EDTA: disolver 26,8 g de Na_2H_2EDTA en 100 mL de agua destilada, a pH 13 con NaOH 10M
- Sellador plástico a base de siliconas

PROCEDIMIENTO

1. Filtrar 800 mL de la muestra en Büchner adecuado con papel de filtro de poro fino (tipo SS banda azul)
2. Colocar la muestra filtrada en un vaso de precipitado de 1 L y comenzar a agitar con un agitador magnético a temperatura ambiente.
3. Agregar 3 mL de H_2SO_4 cc y luego 1 mL de la solución de $BaCl_2$.
4. Trasvasar a una mamadera de vidrio con capacidad de 250 mL, una alícuota de 250 mL de la muestra.
5. Centrifugar 15 min a 1600 rpm.
6. Volcar el sobrenadante y descartarlo. **Nota:** El sobrenadante debe ser conservado en caso de que sobre él se desee realizar la determinación de la concentración de uranio.
7. Trasvasar a la misma mamadera y sobre el precipitado, otra alícuota de 250 mL de la muestra.
8. Repetir los pasos 5, 6 y 7 hasta separar todo el precipitado. **Nota:** lavar las paredes del vaso de precipitados con 2 alícuotas de 10 mL de agua destilada y trasvasar a la mamadera antes de la última centrifugación.
9. Agregar 20 mL de agua destilada a la mamadera y resuspender el precipitado.
10. Centrifugar 15 min a 1600 rpm. Volcar el sobrenadante y descartarlo.
11. Calentar la mamadera a baño de María sobre plancha calefactora o mechero hasta que el precipitado y la barra magnética estén secos. **Nota:** El baño de María se realiza dentro de un vaso de precipitados de 500 mL.
12. Continuar el calentamiento de la mamadera a baño de María, pero ahora sobre el agitador magnético y comenzar a agitar.
13. Agregar 5 mL de solución de Na_2H_2EDTA previamente calentada a baño de María. **Nota:** Generalmente, la solución se coloca en un vial de vidrio de 20 mL y el baño se realiza dentro de un vaso de precipitados de 100 mL.
14. Continuar con la agitación por lo menos 2 minutos.
15. Retirar el precipitado disuelto, con pipeta de transferencia descartable o micropipeta de 5 mL y trasvasarlos a un vial de vidrio para centelleo (bajo contenido de K 40) de 20 mL.
16. Lavar la mamadera por las paredes, con dos alícuotas de 2 mL de agua destilada calentada a 100°C.
17. Retirar los lavados con pipeta de transferencia descartable o micropipeta de 5 mL y trasvasarlos al mismo vial del paso 15.
18. Enrasar el volumen a 10 mL con agua destilada. Dejar enfriar.
19. Agregar 10 mL de solución centelladora. Anotar el tiempo (día y hora) como tiempo inicial de crecimiento(Ti).
20. Sellar el vial de centelleo, en su rosca y por fuera, con un sellador de tipo plástico gomoso. **Nota:** Considerar que la cantidad de sellador debe ser suficiente como para realizar un buen sellado sin poros ni grietas, pero no excederse ya que luego el vial debe ser medido en un contador de centelleo líquido que posee especiales requerimientos de diámetro.
21. Luego de no menos de 7 días (lo ideal es 15 a 22 días), proceder a la separación de fases. Abrir la tapa sellada y colocar una tapa con un orificio central por el cual pasa una cánula. **Nota:** La cánula llega hasta el fondo del vial por un extremo y por el otro se une la punta de una micropipeta de 5 mL para realizar la aspiración de la fase acuosa. Tanto

la tapa como la contratapa cónica tienen además otro orificio para equilibrar la presión atmosférica.

22. Retirar la fase acuosa y dejar en el vial la fase orgánica. **Nota:** Para realizar esta operación se cubre el vial con un papel negro para evitar fotoluminiscencia. Se recomienda no agitar las fases de separación para evitar pérdidas de Rn 222 durante el proceso.

23. Tapar rápidamente el vial con su tapa original y sellar con las recomendaciones del punto 20.

24. Luego de 30 min de la separación medir en el equipo de centelleo líquido por discriminación en forma de pulsos durante 100 min. **Nota:** El tiempo de espera es requerido para completar el decaimiento del Rn 220.

CÁLCULOS

Para determinar la actividad de Ra 226 se aplica la siguiente expresión:

$$A_{Ra-226} = (C - B) \cdot \frac{fd \cdot fs \cdot 37}{V \cdot Ef \cdot fc \cdot 2{,}22}$$

donde

A_{Ra-226} = actividad del Ra 226 (mBq/L)

C = contaje de la muestra (cpm)

B = contaje del blanco (cpm)

V = volumen de la muestra (0,8 L)

Ef = eficiencia total del método (química, de contaje y de separación)

Fc = factor de corrección por crecimiento: $fc = 1 - e^{-\lambda \cdot (Tf - Ti)}$

donde

λ = constante de decaimiento del Rn 222

Tf = tiempo final de crecimiento

Ti = tiempo inicial de crecimiento

Fs = factor de corrección por decaimiento durante el tiempo transcurrido entre la separación y el comienzo de la medición: $fs = e^{\lambda \cdot Ts}$

donde

λ = constante de decaimiento de Rn-222

Ts = tiempo entre la separación y el comienzo de la medición

Fd = factor de corrección por decaimiento durante la medición: $fd = \frac{\lambda \cdot Tm}{1 - e^{-\lambda \cdot Tm}}$

donde

λ = constante de decaimiento del Rn 222

Tm = tiempo de medición

LÍMITE DE DETECCIÓN

El valor alcanzado es de 2,2 mBq/L para un 95% de confianza.

REFERENCIAS

1. Prichard, H.M., Gesell, T.F.; Health Phys., Vol 33, pp 577-581, December 1977.

2. Sill, C.W.; Anal. Chem., Vol 52, pp 1452-1459, August 1980.

7.2. Determinación de radio 226 en suelos (Ra-02)

ANALITO: RADIO 226 **TÉCNICA:** CENTELLEO LÍQUIDO

MATRIZ: SUELO **LÍMITE DE DETECCIÓN:** 9,4 mBq/g

APLICACIÓN

Este procedimiento se aplica a muestras de suelos y sedimentos. El sedimento se disgrega en medio ácido en una bomba Parr.

La determinación de la concentración de Ra 226 se lleva a cabo por coprecipitación con $BaSO_4$, disolución con solución alcalina de EDTA, agregado de solución centelladora de base tolueno y posterior medición del Rn 222 emanado, según *Procedimiento Ra-01.*

EQUIPAMIENTO Y MATERIALES

- Equipo de medición por centelleo líquido, Packard Tri-Carb 2550 TR/AB. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Viales de centelleo de vidrio borosilicato de 20 mL con bajo contenido de K-40
- Centrífuga de pie, con capacidad para recipientes de 250 mL
- Recipientes de vidrio Pyrex™ de base redonda (denominados mamaderas), de 250 mL, para ser usados en la centrífuga
- Bombas Parr. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Plancha calefactora
- Agitador magnético con calefacción

REACTIVOS

- Solución centelladora: disolver 5 g de PPO (2,5-Difeniloxazol) y 0,05 g de POPOP (2,2`-p-Fenilen-bis (5-feniloxazol)) en 1 L de tolueno. Tanto el tolueno como los centelladores utilizados son “grado centelleo”
- Solución estándar de Ra 226
- Solución alcalina de EDTA: disolver 26,8 g de $Na_2EDTA.2H_2O$ en 100 mL de agua destilada, agregar NaOH 10 M hasta alcanzar pH=13
- HF p.a.
- HNO_3 p.a.
- $HClO_4$ p.a.

PROCEDIMIENTO

1. Pesar 200 mg de suelo seco y homogeneizado, y colocarlo dentro de una bomba Parr de Teflon™.
2. Agregar 6 mL de HF cc, 4 mL de HNO_3 cc y 1 mL de $HClO_4$ cc.
3. Calentar a 140 °C en estufa durante 4 horas.
4. Dejar enfriar y transferir cuantitativamente la solución de suelo a un vaso de precipitado conteniendo 500 mL de agua destilada. Completar el volumen a 800 mL con agua destilada.
5. Agitar la muestra a temperatura ambiente, agregar 3 mL de H_2SO_4 cc y 1 mL de $BaCl_2$ 2,1%P/P para coprecipitar el Ra 226 y continuar según *Procedimiento Ra-01*.

CÁLCULOS

Para determinar la actividad de Ra 226 se usa la siguiente expresión:

$$A_{Ra-226} = (C - B)\frac{fd \cdot fs \cdot 37}{P \cdot Ef \cdot fc \cdot 2{,}22}$$

donde

A_{Ra-226} = actividad del Ra 226 (mBq/g)

C = contaje de la muestra (cpm)

B = contaje del blanco (cpm)

P = peso de la muestra (g)

Ef = eficiencia total del método (química, de contaje y de separación)

fc = factor de corrección por crecimiento: $fc = 1 - e^{-\lambda \cdot (Tf - Ti)}$

donde

λ = constante de decaimiento del Rn 222

Tf = tiempo final de crecimiento

Ti = tiempo inicial de crecimiento

fs = factor de corrección por decaimiento durante el tiempo transcurrido entre la separación y el comienzo de la medición: $fs = e^{\lambda \cdot Ts}$

donde

λ = constante de decaimiento de Rn 222

Ts = tiempo entre la separación y el comienzo de la medición

fd = factor de corrección por decaimiento durante la medición: $fd = \frac{\lambda \cdot Tm}{1 - e^{-\lambda \cdot Tm}}$

donde

λ = constante de decaimiento del Rn 222

Tm = tiempo de medición

LÍMITE DE DETECCIÓN

Para una muestra de 0,2000 g el valor alcanzado es de 9,4 mBq/g para un 95% de confianza.

REFERENCIAS

1. Centanni F.A., Ross A.M., DeSesa M.A. (1956): Fluorometric determination of uranium. Anal. Chem.,28,N°11,1651-1657.

2. Rushing D.R., Garcia W.J., Clarck D.A. (1964): The analysis of effluents and environmental samples from uranium mills and biological samples for radium, polonium and uranium. Proc. of the Symposium on Radiological Health and Safety in Mining and Milling of Nuclear Materials, Vienna ,Vol. II, 187-230.

3. Sill C.W. (1980): Determination of gross alpha , plutonium, neptunium, and/or uranium by gross counting on barium sulphate. Anal. Chem.,52,N°9,1452-1459.

4. Fissene I.M. (1990): Radium-226, emanation procedure. EML Procedure Manual, HASL-300, 4.5-162.

5. Sumerling T., Darby S. (1981): Statistical aspects of the interpretation of counting experiments designed to detect low level of radioactivity, NRPB-R113, 46.

6. A.M. Bomben, A.C. Canoba (1996): A Simple Method for the Determination of natural Uranium and Ra-226 in water and soils. Journal of Radioanalytical Chemistry-Letters 212(3) 209-219.

8.1. Determinación de radón en aire en forma instantánea (Rn-01)

ANALITO: RADÓN

TÉCNICA: CENTELLEO SÓLIDO

MATRIZ: AIRE

LÍMITE DE DETECCIÓN: 9 Bq/m^3

APLICACIÓN

Se presenta aquí el procedimiento e instrumental comúnmente utilizado para la medición de radón en aire en forma instantánea. Este procedimiento es considerado método de referencia para la calibración de otros métodos de medición.

Se utilizan frascos de centelleo de aproximadamente 140 mL de volumen, basados en el método de Lucas (1957). Los frascos son de vidrio borosilicato, recubiertos con ZnS (Ag) como centellador. La parte superior, consiste en un tapón de goma que ajusta perfectamente en la boca del frasco y es sellado con un sellador siliconado.

EQUIPAMIENTO

- Frascos de centelleo basados en el Método de Lucas. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Equipo Ludlum 2200. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*

PROCEDIMIENTO DE CUBIERTA DEL FRASCO

Con este procedimiento, se coloca una delgada capa de ZnS(Ag) sobre todas las superficies internas, excepto la base del frasco. Los materiales y los pasos son los siguientes:

A. Materiales de la capa

1. ZnS(Ag) - (Wm. B. Johnson Associates PIO Box 472,216 Edgar Ave., Ronceverte, WV 24970).
2. Solución adherente - Disolver 5 g de silicona in 100 mL de tetracloruro de carbono. Agitar hasta que la silicona quede completamente disuelta. Esto alcanza como para cubrir 100 frascos.

B. Pasos para cubrir los frascos

1. Limpiar los frascos con un limpiador no-abrasivo.
2. Agregar aproximadamente 10 mL de la solución adherente, inclinando el frasco a fin que la solución no toque el fondo del mismo, colocar el tapón y rotar suavemente hasta que toda la superficie, excepto el fondo, esté cubierta. Sacar el tapón.

3. Gotear el exceso de la solución adherente en un segundo frasco o devolverlo a la botella de stock.
4. Agregar 15-20 g de ZnS(Ag). Rotar el frasco varias veces hasta que toda la superficie esté cubierta. Descartar el exceso de polvo.
5. Colocar el tapón y sellar con el sellador siliconado. Hacer vacío y proceder a la lectura de fondo. Guardar el frasco para su posterior uso.

CALIBRACIÓN DEL MÉTODO INSTANTÁNEO

Un aspecto esencial en la determinación de actividad es la calibración del método de medición considerado.

En el caso de la determinación instantánea de radón en aire, es importante que el sistema frasco de centelleo - equipo de medición, sea tratado como una unidad. Es decir, cada frasco de centelleo tiene su propio factor de calibración (Fc) para cada equipo de medición.

Para calcular dicho factor, se utilizan como patrones de calibración soluciones de Ra 226 de actividad conocida, aproximadamente 1 Bq, alojadas dentro de frascos tipo penicilina herméticamente sellados. Por burbujeo de un gas inerte, nitrógeno o argón, el radón es transferido desde la solución donde se halla en equilibrio con el radio, al frasco de centelleo donde se ha realizado previamente vacío. Una vez alcanzado el equilibrio (3 h) se mide el frasco de centelleo en el fototubo correspondiente.

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO Y CONTAJE

1. Conectar el frasco muestreador de radón, a una bomba de vacío a través de una aguja y succionar aire durante 5 minutos para frascos de centelleo entre 120-150 mL.
2. Previamente al apagado de la bomba, desconectar el frasco de la bomba de vacío. Proceder al llenado con la atmósfera a muestrear, a través de una aguja que posee un filtro de alta eficiencia para remover las partículas y la progenie del Rn 222.
3. Una vez alcanzado el equilibrio, 3 h después del muestreo, dejar contando el frasco de centelleo sobre el fototubo del equipo Ludlum 2200. Registrar el tiempo de medición.
4. Determinar la concentración de radón al momento de muestreo

CÁLCULOS

Factor de calibración (Fc)

$$Fc = \frac{A_p \cdot e^{-\lambda t}}{V \cdot \left(cpm_{frasco} - cpm_{fondo} \right)}$$

donde

A_p = actividad del patrón de Ra 226 (Bq)

V = volumen del frasco de centelleo (m^3)

Cpm_{frasco} = cuentas por minuto del frasco de centelleo

Cpm_{fondo} = cuentas por minuto del fondo

$e^{-\lambda t}$ = factor de corrección por decaimiento

λ = constante de decaimiento del Rn 222 (ln2/91,7 h^{-1})

t = tiempo desde el punto medio de muestreo al punto medio del contaje (h)

Actividad de Rn 222

$$A\left(Bq/m^3\right) = \frac{\left(cpm_m - cpm_{fondo}\right) \cdot Fc}{e^{-\lambda t}}$$

donde

A = actividad de Rn 222 en Bq/m^3

Cpm_{frasco} = cuentas por minuto obtenidas en la medición de la muestra

Cpm_{fondo} = cuentas por minuto obtenidas en la medición del fondo

LÍMITE DE DETECCIÓN

$$LD = \frac{3{,}3 \cdot \sqrt{C_F} \cdot F_C}{t_F}$$

donde

C_F = cuentas del fondo

F_C = factor de calibración (Bq/m^3.cpm)

t_F = tiempo de medición del fondo

Para un factor de calibración de 80 Bq/m^3.cpm, un fondo de 1 cpm y un tiempo de medición de 900 minutos, el límite de detección de la técnica es de 9 Bq/m^3, para un nivel de confianza del 95%.

REFERENCIAS

Lucas, H.L. “Improved low-level alpha-scintillation counter for radon”. Rev. Sci. Instrum. 28, 680, 1957.

8.2. Determinación de radón en aire por adsorción en carbón activado (Rn-02)

ANALITO: RADÓN

TÉCNICA: CENTELLEO LÍQUIDO

MATRIZ: AIRE

LÍMITE DE DETECCIÓN: 4 Bq/m^3

APLICACIÓN

El procedimiento describe un método pasivo para la determinación de la concentración de radón. El sistema detector consiste en un vial de centelleo conteniendo carbón activado, una barrera difusora y gel de sílice. El radón adsorbido es medido en un equipo de centelleo líquido, una vez alcanzado el equilibrio. Es una técnica intermedia entre los métodos inmediatos y los métodos integradores en el tiempo. Este detector es independiente de la humedad ambiente, debido al uso de la barrera difusora y de la masa adecuada de desecante.

Las ventajas de esta técnica son su simplicidad, bajo costo, bajo límite de detección, su total automatismo en la medición y la capacidad de medir un amplio rango de concentración de radón.

EQUIPAMIENTO

- Dispositivo utilizado para medir la concentración de radón en aire. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Equipo de medición por centelleo líquido Packard Tri-Carb 2770-TR/SL. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*

REACTIVOS

- Solución centelladora: disolver 5 g de PPO (2,5-Difeniloxazol) y 0,05 g de POPOP (2,2`-para-Fenilen-bis (5-feniloxazol)) en 1 litro de tolueno. Tanto el tolueno como los centelladores utilizados son “grado centelleo”.

DESCRIPCIÓN

El dispositivo utilizado para medir la concentración de radón en aire está constituido por un vial de vidrio para centelleo, de bajo contenido de K 40, de 20 mL de volumen. En él, se colocan 2 g de carbón activado tipo Norit RKJ 1, una barrera difusora de 1cm de espesor de espuma de poliuretano y, sobre ésta, 5 g de gel de sílice, para el control de la humedad. Previamente el gel de sílice y el carbón activado son desecados en estufa a 120°C, durante 3 horas.

Las proporciones empleadas en el dispositivo son el resultado de la optimización de las diferentes combinaciones de masa de carbón activado y desecante, y también fue analizada la presencia de más de una barrera difusora.

PROCEDIMIENTO

1. Exponer el vial abierto en el lugar a ser monitoreado, durante un tiempo determinado, para que el radón se adsorba en el carbón activado. Una vez que finaliza el muestreo, tapar el vial.

2. Retirar el gel de sílice y la membrana difusora y se agregar 10 ml de la solución centelladora.

3. Agitar vigorosamente para favorecer la desorción desde el carbón activado.

4. Sellar el vial con un sellador siliconado y centrifugar durante 5 minutos a 2000 rpm.

5. Una vez alcanzado el equilibrio químico y radiológico entre el radón y sus descendientes (6 horas a partir de finalizado - el muestreo), medir el vial en un equipo de centelleo líquido de bajo fondo, ver *CL-01*.

CÁLCULOS

A. Calibración

La calibración del método es realizada utilizando una cámara de referencia de un 1 m^3 de volumen, construida en acrílico, que contiene mineral de uranio rico en radio, como fuente de gas radón.

La temperatura, la humedad y la concentración de radón en el interior de la cámara son monitoreadas en forma continua, siendo la concentración de radón determinada mediante el método de Lucas.

Con el fin de evaluar el efecto de la humedad relativa en la respuesta de los detectores, se llevan a cabo una serie de pruebas dentro de la cámara de referencia. Los detectores son expuestos por quintuplicado, a tres valores de humedad diferentes, 30%, 50% y 80% (valores representativos de humedad baja, media y alta). La humedad es mantenida constante dentro de la cámara durante cada experiencia. Para deshumidificar el recinto, se hace circular el aire a través de un circuito formado por columnas que contienen gel de sílice, y para humidificarlo, se evapora agua dentro de la cámara. La humedad es medida con un higrómetro. Todas las experiencias se llevan a cabo con temperatura constante (20-22°C), durante períodos de 17 a 170 horas.

Los monitores expuestos son procesados y medidos según el procedimiento descripto.

Para elaborar la curva de calibración se exponen alrededor de 60 viales para cada valor de humedad. La ecuación utilizada para calcular el factor de calibración empírico es:

$$F = (t_e . e . C_r . D) / C_n$$

donde

- F = factor de calibración (h / m^3)
- C_n = cuentas netas por minuto, o sea cuentas por minutos medidas menos cuentas por minuto del fondo
- t_e = tiempo de exposición (h)
- e = eficiencia total (cpm / Bq)
- C_r = concentración de radón en la cámara de referencia (Bq / m^3)
- D = corrección por decaimiento $D = e^{-(\lambda t)}$
- λ = constante de desintegración radiactiva del radón (h^{-1})
- t = tiempo desde el punto medio del tiempo de exposición hasta el comienzo del contaje (h)

Una vez hallado el factor de calibración, la concentración de radón de una muestra incógnita se obtiene procediendo de la siguiente manera:

$$C_{rx} = F \cdot C_n / (t_e \cdot e \cdot D)$$

donde

C_{rx} = concentración de radón en la muestra incógnita

En la Figura 1 se observa la recta resultante de la regresión lineal de todos los datos. De ésta se obtiene el factor de calibración

$$F = A + B \cdot x$$

donde

A = 37,18

B = 0,34

Coeficiente de correlación r = 0,998

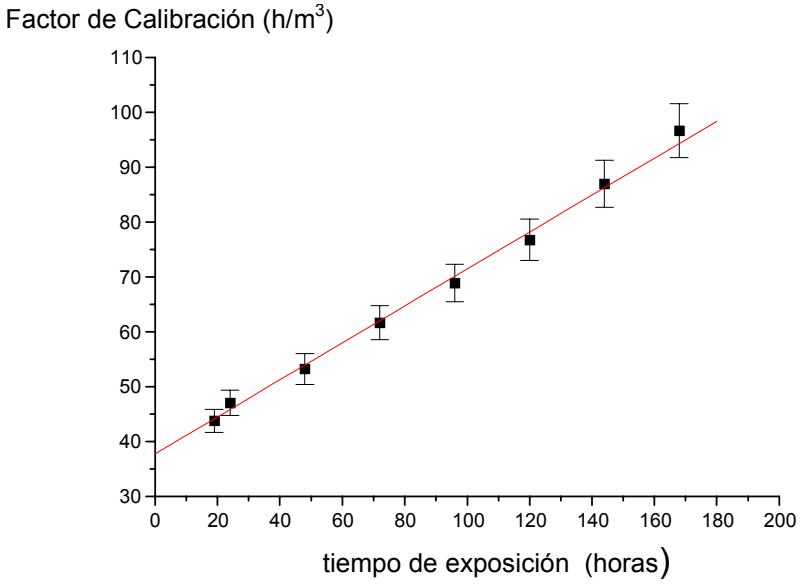


Figura 1

B. Estimación del error y del límite de detección

El error de la medición se estima con la siguiente ecuación:

$$error\ (2\sigma) = \frac{2 \cdot \sqrt{cpm_m + cpm_f}}{\left(cpm_m + cpm_f\right)\sqrt{t_m}}$$

donde

t_m = tiempo de medición expresado en minutos

cpm_m = cuentas por minuto medidas durante la determinación

cpm_f = cuentas por minuto correspondientes al fondo

El error calculado para todas las mediciones realizadas estuvo comprendido entre el 5 y el 10%.

El límite de detección se calcula mediante la siguiente expresión:

$$LD\left(Bq/m^3\right) = \frac{3{,}3 \cdot \sqrt{cpm/t_{mf}} \cdot F}{t_e \cdot e \cdot D}$$

donde

cpm = cuentas por minutos del fondo

t_{mf} = tiempo de medición del fondo

D = corrección por decaimiento $D = e^{-(\lambda t)}$

E = eficiencia total (cpm/Bq)

F = Factor de calibración (h/m^3)

El límite de detección de la técnica es de 4 Bq/m^3, para un tiempo de exposición de 72 horas, un fondo de 24 cpm y 60 minutos de medición, para un nivel de confianza del 95%.

REFERENCIAS

1. U.S. Environmental Protection Agency, 1990, NAREL Standard Operating Procedures For Radon-222, Measurement Using Diffusion Barrier Charcoal Canister, EPA 520/5-90-032, Office Of Radiation Programme: Washington D.C.

2. George A. C., 1984, Passive Integrated Measurement Of Indoor Radon Using Activated Carbon, Health Physics 46, 4, 867-872.

3. Pojer P. M., Peggie J., O' Brien R., Solomon S. and Wise K, 1990, Performance Of A Diffusion Barrier Charcoal Adsorption Rn 222 Monitor Under Conditions Of Varying Humidity And Temperature, Health Physics 58, 1, 13-19.

4. Prichard H. M. and Marien K., 1985, A Passive Diffusion Rn-222 Sampler Based On Activated Carbon Adsorption, Health Physics 48, 6, 797-803.

5. Scarpitta C. S., 1995, A Theoretical Model For Rn-222 Adsorption On Activated Charcoal Canisters In Humid Air Based On PolanYis Potential Theory, Health Physics 68, 3, 332-339.

8.3. Determinación de radón en aire: Electret (Rn-03)

ANALITO: RADÓN

TÉCNICA: ELECTRET

MATRIZ: AIRE

LÍMITE DE DETECCIÓN: 6 Bq/m^3

APLICACIÓN

Se presenta aquí el procedimiento e instrumental comúnmente utilizado para la medición de radón en aire por un método pasivo. Este método es usado tanto en aplicaciones de laboratorio, como en situaciones que requieren de movilidad y portabilidad.

El sistema E-PERM consiste de tres componentes: 1) un disco de Teflon™ cargado electrostáticamente llamado electret el cual colecta los iones; 2) una cámara iónica hecha de plástico conductor donde se acopla el electret y 3) un lector para leer el potencial superficial (voltaje) del electret. Estos tres componentes son necesarios para realizar mediciones de gas radón. Los E-PERM son llamados también comúnmente por su nombre genérico, *electret ion chamber*.

La base técnica para la medición de gas radón utilizando el Sistema E-PERM ha sido ampliamente descripta en dos trabajos del *Health Physics Journal (54:47-56, 1988 y 58:461-467, 1990)*.

EQUIPAMIENTO

- Sistema E-PERM, ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO Y CONTAJE

La cámara estándar o S, es de un volumen de 200 mL con un mecanismo on-off. Cuando se utiliza un electret *short-term* con la cámara S, la configuración resultante se llama SST E-PERM y cuando se utiliza un electret *long-term* con la cámara S, se llama SLT E-PERM.

Los siguientes pasos son necesarios para la medición de radón utilizando una cámara S:

- Sacar la cubierta protectora del electret y medir el voltaje inicial (I) usando el lector SPER-1. Registrar este voltaje para uso posterior.
- Enroscar el electret al fondo de la cámara S. Tener la precaución de que no haya contacto alguno con la superficie del electret.
- Cuando se encuentre listo para la medición, desenroscar la parte superior de la tapa, dejando en la posición de abierto.
- Colocar el E-PERM en el lugar a monitorear de acuerdo con el corriente protocolo EPA. Registrar el día y la hora de apertura.
- Después del período de exposición deseado (dos días o más), enroscar la tapa y dejar nuevamente en la posición de cerrado. Registrar el momento en el cual finalizó la exposición. Medir el voltaje final del electret (F). El electret puede ser guardado dentro de la cámara S en la posición cerrado o puede ser removido y cubierto con su tapa protectora.

- Proceder al cálculo de la concentración de radón como se explicó anteriormente.
- Aplicar los factores de corrección apropiados si la medición se realizó a más de 1000 m sobre el nivel del mar.

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE RADÓN

Se requiere un cálculo de dos pasos para convertir las dos lecturas de voltaje del electret y el período de exposición en un valor de concentración de radón. Primero, se debe determinar el factor de calibración (FC) usando la siguiente ecuación:

$$FC = \frac{Volts}{\frac{pCi}{L} \cdot dia} = A + B\,\frac{(I+F)}{2}$$

donde

(I+F)/2 = representa el promedio de las lecturas de voltaje inicial y final del electret para una medición particular de radón. Es también llamado midpoint voltage (MPV).

A y B = son constantes de una configuración particular E-PERM (Ver Referencias).

I y F = son los voltajes inicial y final.

Este FC está relacionado linealmente con el voltaje del electret dentro de un rango de 250 a 750 V.

Luego, para calcular la concentración de radón se utiliza la siguiente fórmula:

$$Rn\left(\frac{pCi}{L}\right) = \frac{(I-F)}{FC \cdot D} - BG$$

donde

D = es el período de exposición en días

BG = es el fondo gamma ambiental dado en concentración equivalente (pCi/L).

El fondo gamma ambiental puede ser medido o estimado. Cuando se utiliza la cámara estándar, la concentración equivalente de radón dada por 1 μR/h de radiación de fondo es 0,087 pCi/L.

LÍMITE DE DETECCIÓN

Por definición de Health Physics 58: 461-467, 1990, el límite de detección es el 50% del error. En nuestro caso es de 6 Bq/m^3. Este valor es para una medición de radón en aire después de un tiempo de exposición de 5 días.

REFERENCIAS

1. RadSys ™, The E-PERM Radon Data Manager, Version 3.0. User Manual. 1994.
2. Health Physics 54:47-56, 1988.
3. Health Physics 58:461-467, 1990.

8.4. Medición de radón por el método de revelado de trazas nucleares: Electro Etching (Rn-04)

ANALITO: RADÓN **TÉCNICA:** ELECTRO ETCHING

MATRIZ: AIRE **LÍMITE DE DETECCIÓN:** 8,4 Bq/m^3

APLICACIÓN

El procedimiento aquí descripto, presenta un método integrador en el tiempo (entre 2 y 3 meses), para determinar la concentración de radón con un buen LD (aproximadamente 8 Bq/m^3). También es aplicable a dosimetría de radón, cálculo de factor de equilibrio y se utiliza además en dosimetría de neutrones. Es conveniente desde el punto de vista económico comparado con otros métodos integradores en el tiempo.

El sistema está formado por 11 placas de acrílico y 10 placas de PVC soft. Los detectores (hojas de Makrofol) se exponen ante los distintos ambientes a monitorear ya sea, formando parte de diferentes dispositivos o "al desnudo". Los dispositivos que se utilizan son envases de plástico con una geometría adecuada, que contienen papeles de filtro que evitan el ingreso de la progenie del radón dentro del dispositivo. Detectores "al desnudo" se exponen en paralelo con dichos dispositivos y de esta manera se calcula el factor de equilibrio de un ambiente. Los detectores son calibrados en la cámara de referencia que posee el laboratorio de 1 m^3 de volumen. Una vez finalizado el tiempo de exposición los detectores son revelados por un sistema de electro-etching con soluciones básicas fuertes.

EQUIPAMIENTO

- Estufa de laboratorio
- Fuente de alta tensión, de corriente alterna, de voltaje y frecuencia variables. Asociado a un estabilizador de tensión
- Celdas de electro-etching, para el revelado de los detectores. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Monitores de Rn con detectores de Makrofol, y dispositivos. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*

REACTIVOS

- Solución de KOH 6,5N
- Solución de KOH 0,5N
- Etanol absoluto, p.a.

ARMADO DEL SISTEMA

1. Quitar la hoja de aluminio que se encuentra adherida a una de las caras de cada detector.
2. Hacer una marca en las placas de acrílico pares.
3. Formar la celda colocando sobre cada placa de acrílico, 1 un par de PVC transparente perfectamente superpuesto en el cual se acomoda un Makrofol en cada orificio de manera que la superficie brillante mire hacia arriba y asegurándose que el Makrofol quede

perfectamente centrado en el orificio. **Nota:** Esta forma de armado se realiza para que la cara *activa* del detector quede en contacto con la solución de KOH 6,5N, que atacará dicha superficie, y la otra cara quede en contacto con la solución de KOH 0,5N.

4. Colocar la placa 2 (dura) sobre la cual se apoyará otro par de PVC transparente en los cuales se insertará un par de Makrofols, esta vez con la cara brillante mirando hacia abajo (hacia la placa N°2). Colocar sobre ésta la placa N°3 y así sucesivamente.

5. Luego de armado el sistema, colocar un eje en el medio y ubicar todo dentro de un rack.

6. Introducir en la estufa a 36°C durante toda la noche. **Nota:** Colocar además dentro de la estufa erlenmeyers con KOH 0,5N, KOH 6,5N y etanol, vasos de precipitados con agua destilada y una jeringa dispensadora.

7. Sacar de la estufa, preparar la solución al medio de etanol - KOH 6,5N, y con la jeringa llenar hasta el tope los orificios sin marca con la solución de KOH 0,5N, y los orificios con marca con solución de KOH 6,5N.

8. Colocar nuevamente el rack en la estufa y conectar al equipo de alta tensión.

9. Programar el equipo con los siguientes intervalos:

3:45 h	Voltaje 0	Frecuencia 100
1:45 h	Voltaje 1000	Frecuencia 3000
20 min	Voltaje 0	Frecuencia 100

10. Al finalizar, apagar el equipo, desconectar y lavar bajo agua intentando despegar las placas de PVC.

CÁLCULOS

1. La ecuación a utilizar es:

$$Rn\left(Bq/m^3\right) = \frac{\frac{trazas}{cm^2} - \left(\frac{trazas}{cm^2}\right)_{fondo}}{\Delta t\left(dias\ de\ \exp osicion\right)} \cdot \frac{1}{factor\ de\ calibracion}\left(\frac{Bq \cdot cm^2 \cdot dia}{m^3 \cdot trazas}\right)$$

2. Límite de detección del método:

$$LD = \frac{2\sqrt{background}}{factor\ de\ calibracion} = 8{,}4\ Bq/m^3$$

3. El factor de calibración se calcula exponiendo los detectores en la cámara de radón durante una exposición determinada (14 días). Se debe verificar la concentración de radón de la cámara con el método de Lucas.

$$factor\ de\ calibracion = \frac{\frac{trazas}{cm^2} - \left(\frac{trazas}{cm^2}\right)_{fondo}}{\frac{Bq}{m^3} \cdot dias\ de\ \exp osicion}$$

Para que sea un factor multiplicativo, se aplica la inversa “1/factor”, con lo cual las unidades son entonces: (Bq días cm^2/m^3 trazas).

REFERENCIAS

Alpha track technique for the determination of radon and decay products in air. N. Urban, Karlsruhe.

8.5. Determinación de la progenie de radón en aire (Rn-05)

ANALITO: RADÓN

TÉCNICA: CENTELLEO SÓLIDO

MATRIZ: AIRE

LÍMITE DE DETECCIÓN: $1{,}1.10^{-4}$ WL

APLICACIÓN

Se presentan aquí tres métodos usados comúnmente para determinar la concentración de la progenie del radón en aire. Los tres métodos -Kusnetz, Rolle y Tsivoglou modificado- se basan en la colección de un volumen conocido de aire a través de un filtro en un período de tiempo conocido, y en contar sobre el filtro, la radioactividad de las hijas de corto período de semidesintegración retenidas en el mismo, después de realizado el muestreo. Los métodos descriptos son convenientes para el uso en laboratorios, hogares, lugares de trabajo y minas subterráneas. Ambos utilizan el mismo muestreador y equipo de contaje, pero con diferentes procedimientos y cálculos.

Efectuando uno o dos contajes en intervalos distintos de esta actividad, puede estimarse la concentración de energía alfa potencial (CEAP). Tres contajes en intervalos diferentes permiten estimar no sólo la CEAP, sino también la concentración individual de las hijas del radón.

Cuando se especifica la concentración individual de una progenie de nucleidos, la unidad del Sistema Internacional (SI) es Bq m^{-3}. Cuando se especifica la concentración de energía alfa potencial (CEAP) de radón, la unidad es Working Level (WL).

EQUIPAMIENTO

1. Bomba de aire y caudalímetro

Bomba de aire portátil capaz de hacer circular 1-3 L min^{-1}, con un filtro de alta eficiencia. Debe ser sólida, liviana, silenciosa y operable con baterías. Debe contar con un caudalímetro calibrado para medir el flujo a través del portafiltro.

2. Filtros de aire y portafiltro

Filtros de membrana con un poro nominal de tamaño < 0,8 μm, o de fibra de vidrio con una eficiencia de colección > 99,9%. Los filtros de membrana poseen una insignificante absorción de partículas alfa durante el contaje. En cualquier otro tipo de filtro debe investigarse las características de la superficie de deposición. En general filtros de poro pequeño presentan la mejor superficie de colección, pero también presentan la mayor resistencia al flujo de aire. Para compensar esto, se puede usar una bomba de mayor capacidad o un filtro y portafiltro de mayor diámetro. El diámetro del filtro puede ser 2,5 ó 4,7 cm dependiendo del tamaño del portafiltro y del detector usado. El tubo conector entre la bomba y el portafiltro debe ser un tipo de manguera de paredes gruesas, resistentes a la presión. La mayor fuente de error en la medición de la progenie del radón por colección sobre filtros, es frecuentemente un portafiltro defectuoso. Para prevenir esto, debe asegurarse que el ensamblado filtro - portafiltro sea ajustado y que posea un sello O-ring apropiado.

3. Cronómetro

Sistema de contaje de partículas alfa, LUDLUM™ 2200. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*

Se emplea para medir la actividad alfa depositada en los filtros. Los contadores son designados para la medición de alfa total, en los cuales las partículas alfa desde Po 218 (6 MeV) y Po 214 (7,7 MeV) son contados sin discriminación.

Los contadores consisten de un tubo fotomultiplicador y sobre el mismo, se coloca un simple disco centelleante de ZnS (Ag), y el filtro se ubica frente al mismo. [Ludlum 2200]. Finalmente el tubo fotomultiplicador está conectado a un sistema de escalímetro - ratímetro.

Calibración

El método utilizado de calibración se basa en las mediciones combinadas de la actividad alfa y gamma retenida en dos filtros. Una solución de Ra 226 se dispersa sobre un filtro y se lo sella. Luego de alcanzado el equilibrio (15 días), se mide la emisión gamma. Un filtro similar se utiliza para retener las hijas del radón y se mide la actividad alfa y gamma sobre el mismo. Comparando las mediciones gamma, puede calcularse el número de emisiones alfa, y con estos datos y la tasa de contaje alfa previamente obtenida, se estima la eficiencia del sistema.

Los contadores tienen una eficiencia de aproximadamente el 42%. Las eficiencias medidas que se encuentran fuera del rango 41-43%, o las que no son reproducibles, son un índice de mal funcionamiento y esos contadores no son usados.

MÉTODO DE UN SOLO CONTAJE (KUSNETZ Y ROLLE)

Los dos métodos que se utilizan normalmente, de un solo contaje, son los de Kusnetz y Rolle. Ambos difieren sólo en la elección de los tiempos de muestreo, espera y contaje utilizados. Estos métodos son importantes, tanto en minas subterráneas como en viviendas, dada su simplicidad.

El principio de los métodos es el siguiente: se hace pasar aire (muestra) a través de un filtro con un flujo de 1-3 L/min, por un período de 5 a 10 minutos. Luego de un tiempo de espera que varía según el método, se integra la actividad alfa del filtro mediante un contador de centelleo, durante 5-10 min.

Procedimiento

Previo al muestreo y contaje de una muestra, el operador debe asegurarse de que el equipo de muestreo esté trabajando en condiciones apropiadas y que el sistema de contaje este calibrado y funcionando adecuadamente. La eficiencia y el nivel de fondo deben ser determinados como se discutió anteriormente.

1. Kusnetz

El método original de Kusnetz fija el tiempo de muestreo en 10 min, el de espera en 40 a 90 min y el tiempo de medición en 10 min.

Después del muestreo, remover el filtro conteniendo la progenie del radón del portafiltro y transferirlo al sistema de contaje para análisis. No hay urgencia en realizar esto, debido a que el operador posee, por lo menos, 40 min para comenzar el contaje. Durante ese período de espera, se puede, si se desea, tomar otra muestra en otro lugar del edificio usando un filtro nuevo en el mismo portafiltro y equipo de muestreo.

El tiempo de espera relativamente largo, permite la interferencia de las hijas del torón. Pero por otra parte, facilita que el contaje se realice en áreas preparadas para tal fin, alejadas del lugar de muestreo.

2. Rolle

Este método se diferencia del anterior en que el contaje comienza entre 1 y 6 min después del muestreo, dependiendo del tiempo de contaje.

Debido a su corto tiempo de espera, es prácticamente insensible a las hijas del torón, pero exige que el contaje se realice en el área de trabajo, con el eventual problema de altos fondos de contaje.

Cálculos

La concentración de energía alfa potencial (CEAP) puede estimarse según la siguiente fórmula:

$$CEAP\ (WL) = C / (E.\ Q\ .\ t_s\ .\ t_{c.}.\ K)$$

donde

C = número de cuentas netas integradas

E = eficiencia del contador (cps Bq^{-1})

Q = flujo de muestreo (L min^{-1})

t_s = tiempo de muestreo (min)

t_c = tiempo de contaje

K = factor de conversión (dpm / L. WL)

La desviación estándar de la medición en % puede ser calculada según:

$$\%\sigma_p = \frac{\sqrt{\frac{cuentastotales(cpm)}{tiempocontado(min)} + \frac{fondo(cpm)}{tiempocontado(cpm)}}}{cuentastotales(cpm) - fondo(cpm)} \cdot 100$$

La incerteza inherente del método depende de la variación de las concentraciones relativas de las hijas del radón, y se encuentra en el orden del 10%.

MÉTODO DE TSIVOGLOU MODIFICADO

El método de Tsivoglou modificado es más complicado que el de Kusnetz, pero conduce a una información adicional: la concentración individual de la progenie del radón.

Procedimiento

El procedimiento de muestreo es idéntico al usado en el método de Kusnetz o Rolle. (Actualmente los tres métodos pueden ser usados con el mismo filtro que contiene la muestra de la progenie del radón).

Después de finalizado el muestreo, remover el filtro conteniendo la progenie del radón del portafiltro y transferirlo al sistema de contaje para el análisis. Los intervalos estándares de contaje son 2-5, 6-20, y 21-30 min después del muestreo. Estos intervalos dan un tiempo adecuado para transferir el filtro al sistema de contaje y registrar las cuentas de las diferentes intervalos de medición.

Cálculos

Las ecuaciones necesarias para calcular la concentración de Po 218, Pb 214 y Bi 214 de una muestra de aire de 10 min y para los intervalos de contaje estándares anteriormente mencionados son:

$$^{218}Po\left(Bq\cdot m^{-3}\right)=\frac{\left[\ 0{,}1689\ C_1-0{,}082\ C_2+0.0775\ C_3-0{,}0562\ R_b\right]\cdot 37}{EQ}$$

$$^{214}Pb\left(Bq\cdot m^{-3}\right)=\frac{\left[\ 0{,}0012\ C_1-0{,}0206\ C_2+0{,}0491\ C_3-0{,}1571\ R_b\right]\cdot 37}{EQ}$$

$$^{214}Bi\left(Bq\cdot m^{-3}\right)=\frac{\left[\ -0{,}0225\ C_1+0{,}0332\ C_2-0.0377\ C_3-0{,}058\ R_b\right]\cdot 37}{EQ}$$

donde

C_1, C_2, C_3 = cuentas totales en los intervalos de contaje 2-5, 6-20, y 21-30 respectivamente

R_b = cuentas del fondo

E = eficiencia de contaje [(cuentas min^{-1}) / (desintegraciones min^{-1})]

Q = Flujo de aire (L min^{-1})

Estos coeficientes son derivados usando 3,05 minutos para la vida media de Po 218, 26,8 minutos para Pb 214 y 19,9 minutos para Bi-214 (ICRP, 1983).

Las ecuaciones de la desviación estándar que calcula la precisión de cada radionucleido son:

$$\sigma\left(^{218}Po\right)=\frac{37\cdot 0{,}1}{EQ}\left[\ 2{,}854\ C_1+0{,}672\ C_2+0{,}601\ C_3+0{,}31\ \frac{R_b}{T_b}\right]^{1/2}$$

$$\sigma\left(^{214}Pb\right)=\frac{37\cdot 0{,}1}{EQ}\left[\ 0{,}00014\ C_1+0{,}042\ C_2+0{,}241\ C_3+2{,}5\ \frac{R_b}{T_b}\right]^{1/2}$$

$$\sigma\left(^{214}Po\right)=\frac{37\cdot 0{,}1}{EQ}\left[\ 0{,}051\ C_1+0{,}11\ C_2+0{,}142\ C_3+0{,}34\ \frac{R_b}{T_b}\right]^{1/2}$$

donde

σ = desviación estándar (Bq m^{-3})

T_b = tiempo de contaje del fondo

R_b, C_1, C_2, C_3, E y Q son definidos igual que anteriormente.

Dos de los procedimientos pueden ser aplicados al mismo filtro, simplemente usando dos regímenes de contaje en secuencia: tres intervalos [(2-5), (6-20), y (21-30)] para el método modifi-

cado de Tsivoglou, y un solo intervalo desde 40-50 minutos después de finalizado el muestreo, para el método de Kusnetz. Esto provee un útil chequeo contra errores al transcribir datos y en los cálculos.

REFERENCIAS

1. George, A.C. “Measurement of Airborne Radon-222 Daughters by Filter Collection and Alpha Radioactivity Detection”. B. Seifert, H.J. van de Wiel, B. Dodet, I.K. O’Neill (editors) in: Environmental Carcinogens - Methods of Analysis and Exposure Measurement- Indoor Air, WHO, IARC Scientific Publications No. 109, Lyon, Vol. 12, pp. 173-179, March (1993).

2. ICRP Radionuclide Transformations: Energy and Intensity of Emissions.

3. Annals of the International Commission Radiological Protection, ICRP Publications 38, Vol. 11-13 (1983).

4. Kusnetz, H.L. “Radon Daughters in Mine Atmospheres. A Field Method for Determining Concentrations”. Am. Ind. Hyg. Assoc. Q., 17, 85-88 (1956).

5. Nazaroff, W.W. “Optimizing the Total-Alpha Three-Count Technique for Measuring Concentrations of Radon Progeny in Residences”. Health Phys., 46,395-405 (1984).

6. Thomas, J.W. “Measurements of Radon Daughters in Air”. Health Phys., 23, 783-789 (1972).

8.6. Determinación de la tasa de emanación de radón en colas de minería de uranio (Rn-06)

ANALITO: RADÓN

TÉCNICA: ESPECTROMETRÍA GAMA

MATRIZ: COLAS DE MINERÍA

LÍMITE DE DETECCIÓN: 0,014 Bq/m^2 seg

APLICACIÓN

Este Procedimiento se aplica en la medición de radón 222 que emana de las colas de uranio. En el mineral de uranio, se encuentran los nucleidos de la cadena natural del U 238, entre ellos el Ra 226, que queda en su totalidad retenido en los residuos estériles del proceso de extracción (colas) y cuyo decaimiento radiactivo genera el gas Rn 222 que emana de dichos residuos sólidos. De ahí la necesidad de contar con un método que permita estimar el impacto radiológico a largo plazo debido a la etapa de extracción del uranio en el ciclo del combustible nuclear.

La técnica utilizada para llevar a cabo esta determinación se basa en el trabajo de Countess (1976), en el que se colocan recipientes conteniendo carbón activado sobre la superficie del residuo sólido, por un período determinado, y la actividad del radón adsorbida por el carbón activado se mide subsecuentemente por espectrometría gamma, según *Procedimiento Gamma-01*.

EQUIPAMIENTO

- Colocar dentro de cada recipiente cilíndrico, denominados muestreadores, 70-75 g de carbón activado. El carbón es retenido por un filtro de fibra de vidrio y una malla metálica.
- Calentar estos muestreadores en una estufa eléctrica durante 3 horas a 200°C.
- Inmediatamente después de enfriarse, cubrir los muestreadores con una bolsa de polietileno y sellarlos para evitar el ingreso de radón, hasta el momento en que se utilice para el muestreo.
- Tomar mediciones de fondo en condiciones similares a las que se utilizarán posteriormente para la medición de los muestreadores expuestos.
- Abrir la bolsa de polietileno y colocar los muestreadores boca abajo sobre los residuos durante 12 horas para medir el radón emanado. Finalizado este período, sellar nuevamente el muestreador hasta su posterior medición.

MEDICIÓN

Al cabo de tres horas finalizado el muestreo, realizar el contaje durante 10 minutos en el interior de un blindaje de Pb para reducir el fondo ambiental. Colocar los muestreadores sobre el detector de NaI (Tl) de 3” x 3”, de forma tal que la base de los mismos se enfrente al detector.

Generalmente se integra la medición en una ventana de 140 keV, centrada en el pico del Bi 214, de 609 keV, cuya actividad una vez alcanzado el equilibrio con el radón (3 horas después de finalizado el muestreo), permite calcular la actividad de radón adsorbida.

CÁLCULOS

La tasa de emanación de radón, expresada en Bq m^{-2} s^{-1}, se calcula mediante un algoritmo matemático que incluye el área de colección, la eficiencia de detección del sistema, el contaje de fondo, la constante de decaimiento radiactivo del Rn 222 (λ) y los tiempos de muestreo, crecimiento y medición.

Este método implica dos supuestos básicos:

a. Se asume que para períodos de muestreo inferiores a 36 horas, la adsorción de radón por el carbón activado es total (100%). El factor principal a tener en cuenta es la temperatura.

b. Se asume, además que la tasa de emanación es constante durante el período de muestreo.

La ecuación que se utiliza es la siguiente:

$$E = \frac{C \cdot \lambda^2}{K \cdot A \cdot \varepsilon \cdot \left(1 - e^{-\lambda t_1}\right) \cdot \left[e^{-\lambda (t_2 - t_1)} - e^{-\lambda (t_3 - t_1)}\right]}$$

donde

E = tasa de emanación de radón (Bq m^{-2} s^{-1})

C = cuentas netas integradas bajo el pico de 609 keV del Bi 214

λ = constante de decaimiento del Rn 222 ($2{,}097.10^{-6}$ s^{-1})

A = área del muestreador (m^2)

ε = eficiencia del contaje del sistema (cuentas / desintegraciones)

K = factor de conversión (desintegración s^{-1} Bq^{-1})

t_1 = tiempo de exposición (s)

t_2 = tiempo desde el comienzo del muestreo hasta el comienzo de la medición (s)

t_3 = tiempo desde el comienzo del muestreo hasta el final de la medición (s)

Valores representativos de ε y A son:

ε = 0,031 cuentas / desintegración (para el sistema descripto)

A = $7{,}8.10^{-3}$ m^2.

LÍMITE DE DETECCIÓN

El límite de detección de la técnica es de 0,014 Bq/m^2 seg en condiciones de exposición óptima (24 horas), para un nivel de confianza del 95%, empleando los siguientes parámetros:

Fondo: 160 cpm

Eficiencia: 4%

Tiempo de medición: 5 minutos

REFERENCIAS

1. Countess, R.J. “Measurements of Rn-222 Flux with Charcoal Canisters”. Health Phys. 31, 455, 1976.

2. Chesney Mason, G., Elliot, G. and Tiang Hong Gan. “A Study of Radon Emanation from Waste Rock at Northern Territory Uranium Mines”. Australian Radiation Laboratory, ARL/TR044, May 1982.

8.7. Determinación de radón disuelto en agua: Electret (Rn-07)

ANALITO: RADÓN

TÉCNICA: ELECTRET

MATRIZ: AGUA

LÍMITE DE DETECCIÓN: 400 Bq/m^3

APLICACIÓN

Este procedimiento se aplica a la medición de radón 222 que se encuentra disuelto en agua. Se coloca un volumen de 67 mL de muestra a analizar en el fondo de un frasco de vidrio de aproximadamente 4 litros. El Electret (detector E-PERM), previamente abierto y medido su voltaje inicial, es suspendido en la fase aérea sobre la muestra de agua. Luego, se procede a cerrar y sellar el frasco.

El radón alcanza el equilibrio entre el agua y el aire. Al final de un período determinado de exposición (de 2 a 5 días), el frasco se abre, se saca el E-PERM y se procede a cerrar el detector y leer el voltaje final. La concentración promedio de radón en aire se calcula según el *Procedimiento Rn-03*. Utilizando este dato, junto con otros parámetros tales como: la relación de volúmenes (aire/agua), el tiempo de espera y el coeficiente de Ostwald, se calcula la concentración de radón disuelto en agua.

EQUIPAMIENTO

- Frasco medidor de vidrio de 4L con junta, tapa apropiada y soporte para el Electret. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Botella muestreadora para muestras de agua de 67 mL de capacidad, con junta y tapa apropiada
- Collar de goma y abrazadera
- Cámara E-PERM con un Electret (*short-term* o *long-term*, dependiendo de los requerimientos) y un lector de voltaje. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*

TOMA DE MUESTRA

El proceso básico de muestreo y de análisis debe ser llevado a cabo cuidadosamente para minimizar la pérdida de radón durante la colección y el transporte. Para una mayor precisión, no deben pasar más de 2 ó 3 días entre la colección de la muestra y el comienzo del análisis.

1. Abrir la canilla y permitir que corra el agua fría aproximadamente 1 minuto a flujo medio, o hasta que la temperatura del agua sea constante. Tomar las muestras después de un período normal de uso (ejemplo, actividades matinales) ayudaría en la obtención de una muestra representativa.
2. Llenar la botella de muestreo, permitiendo que rebalse por unos segundos y luego sacarla cuidadosamente del flujo de agua para mantener un meñisco sobre el borde de la

botella. Se recomienda tomar dos muestras en caso de que la medición deba repetirse por algún motivo. **Nota**: Otro procedimiento aceptable es permitir que el agua corra unos minutos dentro de un balde, llenar y cerrar la botella dentro del mismo.

3. Cerrar inmediatamente la botella tomando precaución de no atrapar burbujas de aire. La botella está hecha de vidrio y posee una tapa a rosca con un sello de Teflon™ en la parte superior.
4. Registrar el día y la hora en que se tomó la muestra e identificar el lugar.
5. Si la muestra será analizada en el laboratorio, guardarla cuidadosamente para asegurarse que no será dañada en el transporte. El tiempo entre la colección y el análisis de la muestra debe ser lo más corto posible para minimizar los errores de medición.

PROCEDIMIENTO

El siguiente procedimiento debe llevarse a cabo en un área de bajo fondo de radón, como pisos altos o en el exterior, para minimizar el radón residual en el frasco medidor.

1. Antes de comenzar el análisis, preparar el E-PERM midiendo el voltaje inicial del electret y desenroscar la tapa de la cámara a la posición *abierta*.
2. Colocar el frasco medidor en forma horizontal sobre su lado, sobre una mesa.
3. Mientras el frasco permanece en posición horizontal, abrir la tapa de la botella muestreadora e insertar la botella abierta en el sostén de acero inoxidable que se halla al fondo del frasco. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento.*
4. Colgar un E-PERM abierto en el soporte que se encuentra del lado interior de la tapa a rosca y enroscar la tapa al frasco. Colocar el frasco en posición vertical cuidadosamente, permitiendo que el agua de la botella muestreadora se derrame en el fondo del frasco. No importa que parte del agua permanezca dentro de la botella muestreadora. Ajustar fuertemente la tapa. **Nota**: los pasos 3 y 4 se deben realizar rápidamente, dentro de 30 segundos, para mantener la pérdida de radón en niveles despreciables.
5. Colocar el collar de goma alrededor de la junta de la tapa y luego la abrazadera. Ajustar el tornillo manteniendo el frasco en posición vertical.
6. Registrar día y hora.
7. Agitar el frasco (mover solamente el agua, y asegurarse de que no existe daño en la botella muestreadora) para acelerar la liberación de radón dentro del frasco medidor. Guardar el frasco en posición vertical donde no sea perturbado durante el período de exposición deseado (generalmente 1 ó 2 días). No se recomienda utilizar tiempos de exposición menores de un día.
8. Después del tiempo de exposición deseado, aflojar la abrazadera, sacar el collar y desenroscar la tapa del frasco medidor, y retirar el E-PERM.
9. Registrar el día y la hora de la remoción.
10. Medir el voltaje del Electret y registrar el voltaje final.
11. Sacar la botella muestreadora y descartar el agua del frasco medidor y de la botella. Enjuagar con agua de bajo contenido de radón y dejar secar.

Se puede utilizar nuevamente el mismo E-PERM para otra medición luego de esperar al menos 3 horas. Para permitir que decaiga la progenie del radón que se halla en su interior. También se puede reutilizar la botella muestreadora. Si el frasco medidor fue usado para medir muestras de agua con una concentración de radón inusualmente alta, enjuagar con agua de red o agua que halla sido hervida.

CÁLCULOS

Si la muestra fue colectada D días antes del comienzo de la exposición del E-PERM, entonces la *concentración de radón en agua corregida por decaimiento de colección* (CRWC) en Bq L^{-1} es:

$$(CRWC) = \frac{(ARC)(\lambda T)[(VA/VW) + OC]}{e^{(-\lambda D)}\left(1 - e^{(-\lambda T)}\right)}$$

donde

ARC = concentración de Rn promedio (Bq L^{-1})

VW = volumen de la muestra de agua: 0,067 L

VA = volumen de aire remanente dentro del frasco: 3,76 L

λ = 0,1813 d^{-1}

OC = coeficiente de Ostwald: 0,26 (define la relación de concentración de Rn 222 entre la fase acuosa y el aire)

T = tiempo de exposición del E-PERM (días)

D = tiempo antes del comienzo de la exposición del E-PERM (días)

El lado derecho de la ecuación contiene cantidades conocidas, salvo el ARC que es medido por el E-PERM según el procedimiento.

LÍMITE DE DETECCIÓN

El límite de detección es de 400 Bq/m^3 para un volumen muestreado de 67 mL, volumen de aire de 3,76 litros, 2 días de exposición y no dejando transcurrir tiempo entre la toma de muestra y la exposición de la cámara.

REFERENCIAS

1. Countess, R.J. “Measurements of Rn-222 in water”. Health Phys. 34, 390-391, 1978.

2. RadSys ™, The E-PERM Radon Data Manager, Version 3.0. User Manual. 1994.

3. Kotrappa, P. and Jester,W.A. “Electret ion chamber radon monitors measure dissolved ^{222}Rn in water”. Health Phys. 64(4):397-405;1993.

8.8. Determinación de radón disuelto en agua: Centelleo líquido (Rn-08)

ANALITO: RADÓN

TÉCNICA: CENTELLEO LÍQUIDO

MATRIZ: AGUA

LÍMITE DE DETECCIÓN: 70 Bq/m^3

APLICACIÓN

Este procedimiento se aplica en la medición de radón 222 que se encuentra disuelto en agua. La medición por centelleo líquido determina la concentración de radón en forma instantánea, requiriendo solamente alcanzar el equilibrio entre el Rn 222 y sus productos de decaimiento de período corto.

El radón es un gas noble altamente soluble en tolueno; este solvente es comúnmente usado en las mediciones por centelleo líquido. La cadena de decaimiento del Rn 222 involucra la emisión de 5 partículas, 3 alfas (5,47; 6,0 y 7,69 MeV) y 2 betas (con $E_{máx}$ de 0,69 a 3,26 MeV) siendo posible medirlas por centelleo líquido con una eficiencia cercana al 100%.

Los métodos que utilizan celdas de Lucas y Electrets son muy específicos, ya que el gas radón es el único que entra en contacto con el sistema de medición, mientras que, en el método de medición por centelleo líquido la presencia de otros alfa emisores podrían interferir en la medición, como sería en el caso del análisis de aguas conteniendo altas concentraciones de Ra 226.

EQUIPAMIENTO

- Equipo de medición por centelleo líquido (Packard Tri-Carb 2550 TR/AB). Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Viales de centelleo de vidrio borosilicato de bajo contenido de K 40

REACTIVOS

- Solución centelladora: disolver 0,5 g de PPO (2,5-Difeniloxazol) y 0,05 g de POPOP (2,2`- para-fenilen-bis (5-feniloxazol)) en 1 litro de tolueno. Tanto el tolueno como los centelladores utilizados son “grado centelleo”.

PROCEDIMIENTO

1. Colocar en un vial de centelleo 10 mL de solución centelladora.
2. Tomar 10 mL de la muestra de agua a ser analizada con una jeringa o micropipeta e inyectarla directamente dentro del vial.
3. Sellar el vial con sellador plástico y agitar durante 1 minuto.

4. Esperar 3-4 horas para permitir que el Rn 222 y sus productos de decaimiento de período corto lleguen al equilibrio.
5. Medir en un contador de centelleo líquido durante 100 minutos, ver *CL-01*.

MEDICIÓN

1. Utilizar el equipo Packard 2550 TR/AB, en modo estándar y con sistema de discriminación por forma de pulso.
2. Ajustar la ventana de medición de 156 a 2000 keV, para el modo estándar.
3. En el caso de la medición con sistema de discriminación por forma de pulso, ajustar el nivel de discriminación en un valor de 114, para minimizar el "spill-over" y la ventana de medición de 300 a 600 keV, para medir solamente las contribuciones debidas a Rn 222 y Po 218.

LÍMITE DE DETECCIÓN

El límite de detección es de 70 Bq/m^3 para volumen de muestra de 10 mL, tiempo de espera hasta alcanzar el equilibrio de 3 horas y un tiempo de medición de 100 minutos.

REFERENCIAS

Countess, R.J. "Measurements of Rn-222 in water". Health Phys. 34, 390-391, 1978.

8.9. Determinación de radón disuelto en agua: Método de Lucas (Rn-09)

ANALITO: RADÓN

TÉCNICA: MÉTODO DE LUCAS

MATRIZ: AGUA

LÍMITE DE DETECCIÓN: 160 a 1400 Bq/m^3

APLICACIÓN

Este Procedimiento se aplica en la medición de radón 222 que se encuentra disuelto en agua. Puede ser usado para la medición instantánea de radón en agua con un límite de detección de 160 a 1400 Bq/m^3, dependiendo del volumen de muestra analizado. Este método es muy específico ya que el gas radón es el único que entra en contacto con el sistema de medición.

Para la medición de radón utilizando las celdas de Lucas, se colocan de 5 a 30 mL de la muestra de agua a analizar en un recipiente de vidrio con cierre tipo frasco de penicilina, que se procede a cerrar y sellar. Luego, se realiza el desgasado del agua utilizando un sistema estanco. Por un lado, el recipiente conteniendo la muestra se conecta, a través de una manguera, a un tubo de nitrógeno con un manómetro y por el otro extremo, se conecta la muestra a una celda de Lucas, en la que previamente se realiza vacío. Con este sistema, el gas inerte arrastra al radón hacia la cámara de contaje. Luego, se esperan 3 horas, para permitir que se alcance el equilibrio entre el radón y sus productos de decaimiento de período corto. Las mediciones fueron realizadas en una cámara de contaje alfa Ludlum 2200, por un período de una hora.

EQUIPAMIENTO

- Cámara de contaje alfa Ludlum 2200. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Celda de Lucas. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Frascos de penicilina
- Tubo de nitrógeno con un manómetro

PROCEDIMIENTO

1. Colocar 5 a 30 mL de la muestra de agua a analizar en un recipiente de vidrio con cierre tipo frasco de penicilina.
2. Cerrar y sellar.
3. Realizar vacío en la celda de Lucas.
4. Conectar el recipiente conteniendo la muestra, a través de una manguera, a un tubo de nitrógeno con un manómetro y por el otro extremo, conectar la muestra en la celda de Lucas.

5. Realizar el desgasado del agua utilizando un sistema estanco. Con este sistema, el gas inerte arrastra al radón hacia la cámara de contaje.
6. Esperar 3 horas para permitir que se alcance el equilibrio entre el radón y sus productos de decaimiento de período corto.
7. Medir en una cámara de contaje alfa Ludlum 2200, por un período de una hora.

LÍMITE DE DETECCIÓN

El método que utiliza celdas de Lucas puede ser usado para la medición instantánea de radón en agua con un límite de detección de 160 a 1400 Bq/m^3, dependiendo del volumen de muestra analizado.

REFERENCIAS

Countess, R.J. “Measurements of Rn-222 in water”. Health Phys. 34, 390-391, 1978.

9.1. Determinación de tritio en agua - Electrólisis alcalina (^{3}H-01)

ANALITO: TRITIO

TÉCNICA: ELECTRÓLISIS ALCALINA

MATRIZ: AGUA

LÍMITE DE DETECCIÓN: 0,142 mBq/mL

APLICACIÓN

Este procedimiento se utiliza para la determinación de tritio en muestras acuosas ambientales. Mediante electrólisis alcalina, aplicando una intensidad de corriente de 7,5 A, la muestra de agua se concentra en tritio (H-3) en un factor 20.

Esta técnica de separación parcial de los isótopos del hidrógeno se basa en que, debido a las distintas velocidades de difusión de los iones respectivos, se libera preferentemente hidrógeno (H-1) y por lo tanto la solución queda enriquecida en los isótopos más pesados (H-2, H-3). La eficiencia de este proceso de enriquecimiento depende de la densidad de corriente, del material de los electrodos, de la distancia de los mismos y de la temperatura del electrolito.

La muestra se destila en presencia de $KMnO_4$ para eliminar sólidos y materia orgánica. Luego se enriquece por electrólisis en medio básico (Na_2O_2) a alta corriente hasta reducir el volumen, normalmente en un factor de 20. El volumen final es pesado y se coloca luego en un destilador al vacío en presencia de $Pb(NO_3)_2$ y se destila hasta sequedad. La actividad de tritio se determina sobre una alícuota del destilado por centelleo líquido. El grado de enriquecimiento se determina mediante una solución estándar calibrada de tritio.

EQUIPAMIENTO

- Celdas electrolíticas. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Aparato de destilación convencional
- Aparato de destilación al vacío convencional
- Equipo analizador de centelleo líquido, Tri Carb 2250 TR/AB Packard. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*

REACTIVOS ESPECIALES

- Permanganato de Potasio, $KMnO_4$ p.a.
- Peróxido de Sodio, Na_2O_2 p.a.
- Nitrato de Plomo, $Pb(NO_3)_2$ p.a.
- Solución centelleadora, Insta Gel XF Packard™
- Solución calibrada de Tritio

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

1. Transferir al balón de 1 L del equipo de destilación, no más de 600 mL de muestra. Agregar 1 g de $KMnO_4$.
2. Destilar a sequedad y seguir calentando durante 5 minutos, para asegurar destilación total.
3. Guardar el destilado, listo para el enriquecimiento, en un recipiente limpio y seco.

PROCEDIMIENTO

A. Enriquecimiento

1. Tomar 300 mL del destilado y agregar 3 g de Na_2O_2. Agitar con agitador magnético hasta disolución total del mismo.
2. Cargar la celda de electrólisis con la solución de Na_2O_2 y pesar exactamente el volumen agregado (Vi).
3. Cerrar perfectamente la celda apretando bien las mariposas, colocar la celda en el baño refrigerante a una temperatura entre -2° y 2°C, conectar el tubo de descarga de gases y esperar 30 minutos para que se alcance el equilibrio térmico.
4. Conectar las celdas y regular la tensión de la fuente de alimentación de manera que la intensidad de corriente sea de 7,5 A.
5. Una vez finalizada la electrólisis (aproximadamente 11 días más tarde) descargar las celdas pesando exactamente el volumen obtenido (Vf).
6. Colocar el concentrado en el balón del destilador al vacío y agregar 12 g de $Pb(NO_3)_2$.
7. Destilar a sequedad, calentando finalmente el balón durante 5 minutos más para asegurar que la destilación sea total.

B. Medición

1. Preparar los viales agregando 10 mL de solución centelladora y 10 mL de muestra.
2. Colocar los viales en el equipo de medición de centelleo líquido, esperar 30 minutos y medir 300 minutos, ver *CL-01*.
3. Con cada conjunto de muestras, medir dos estándares de agua tritiada y dos blancos como mínimo, preparados con agua de bajo contenido de tritio.
4. Medir las muestras, estándares y blancos al menos dos veces. Restar las cuentas del blanco, calcular la eficiencia y por último, la actividad de la muestra total.

Las condiciones de medición son:

Ventana	= 0,5-12,6 keV
Eficiencia (E)	= 23,43%
Factor de mérito (FOM)	= 319,17
LD	= $1{,}42.10^{-4}$ Bq/mL
Tiempo de medición (t)	= 300 min

C. Factor de enriquecimiento de Tritio

Para determinar el factor de enriquecimiento de las celdas de electrólisis, se procedió a concentrar soluciones de tritio de actividad conocida (aproximadamente 1 dpm/mL).

Durante la electrólisis el fraccionamiento isotópico puede expresarse de la siguiente forma, a partir de las velocidades de reacción:

$$\frac{\partial n_P}{n_P} = \alpha \cdot \frac{\partial n_D}{n_D} = \beta \cdot \frac{\partial n_T}{n_T}$$

donde

n_P = número de átomos de protio (H-1)

n_D = número de átomos de deuterio (H-2)

n_T = número de átomos de tritio (H-3)

α = factor de separación deuterio-protio

β = factor de separación tritio-protio

Integrando la ecuación anterior, entre las condiciones iniciales y finales resulta:

$$\log \frac{n_P}{n_{Pi}} = \alpha \cdot \log \frac{n_D}{n_{Di}} = \beta \cdot \log \frac{n_T}{n_{Ti}}$$

Los volúmenes inicial y final están directamente relacionados con el número inicial y final de átomos de protio: $V / V_i = n_P / n_{Pi}$. Luego reemplazando en la expresión anterior se obtiene:

$$\log \frac{V}{V_i} = \alpha \cdot \log \frac{n_D}{n_{Di}} = \beta \cdot \log \frac{n_T}{n_{Ti}}$$

Si T_f y T_i son las concentraciones de actividad final e inicial de tritio, resulta:

$$\frac{n_T}{n_{Ti}} = \frac{T_f \cdot V}{T_i \cdot V_i}$$, que reemplazando en la expresión anterior se obtiene:

$$\frac{T_f}{T_i} = \left(\frac{V_i}{V_f} \right)^{\frac{\beta - 1}{\beta}}$$

Todo método de enriquecimiento debe tender a obtener un valor de β lo más adecuado posible.

Para las distintas electrólisis se calcula la relación de concentraciones de tritio, Tf/Ti, en función de la reducción de volumen, Vi/Vf. Del cálculo es posible extraer el valor del factor de separación β = 6,33, y para una reducción de volumen Vi / Vf = 15 se obtiene un factor de enriquecimiento Tf / Ti = 20, para un volumen inicial de 300 mL.

Por este procedimiento la variación en el factor concentración para las distintas celdas presenta una desviación estándar de 1,5%; la recuperación de tritio al final del proceso es de alrededor del 70%.

CÁLCULOS

1. Calcular el factor de separación tritio-protio, β, según:

$$\beta = \frac{1}{1-\gamma} \qquad \gamma = \frac{\log\left(T_f / T_i\right)}{\log\left(V_i / V_f\right)}$$

donde

T_i = concentración de tritio de la solución estándar empleada para el factor de enriquecimiento (Bq/L)

T_F = concentración de actividad de tritio, determinada por centelleo líquido Realizar los cálculos internamente con el software del equipo cuando se esté usando el modo DPM, o referirse al EPA-600 4-80-032, Method 906.0 (Krieger and Whittaker,1980). (Bq/L)

V_i / V_F = factor de reducción de volumen correspondiente a la electrólisis de la solución estándar

2. Calcular la relación de volúmenes Vi / Vf correspondiente a la electrólisis de la muestra.

3. Calcular la concentración de actividad de tritio, según la siguiente expresión, reemplazando el factor γ obtenido anteriormente:

$$T_i = T_F \,.\, (V_F / V_i)^{\gamma}$$

donde

T_f = es la concentración de actividad de tritio determinada por centelleo líquido, correspondiente al volumen V_f (Bq/L)

REFERENCIAS

1. Ostlund, H.G. and Werner, E. “The Electrolytic Enrichment of Tritium and Deuterium for Natural Tritium Measurements” in Tritium in Physical and Biological Sciences, International Atomic Energy Agency, Vienna, Ref. No. I-95-104, 1962.

2. Fresaville, G. “Le tritium atmospherique mesure et aplications”, CEA. Bibliographie n96.

3. Cambrow, Psyne, Apparatus for concentration and measurements.

9.2. Determinación de tritio en agua por centelleo líquido (^{3}H-02)

ANALITO: TRITIO

TÉCNICA: CENTELLEO LÍQUIDO

MATRIZ: AGUA

LÍMITE DE DETECCIÓN: $3{,}04.10^{-3}$ Bq/mL

APLICACIÓN

Este procedimiento se utiliza para una rápida determinación de tritio por centelleo líquido, que se aplica a muestras acuosas y puede ser completada en un corto período de tiempo.

El método se basa en la aplicación más importante de centelleo líquido, que es la medición de emisores beta de baja energía.

La muestra de agua, se pone en contacto con la solución centelladora y al mezclar ambas, disminuye la autoabsorción.

De este modo se tiene también una mejor geometría y por lo tanto una mayor eficiencia, condiciones fundamentales para la medición de tritio, dada su baja energía, y para muestras de baja actividad.

La muestra debe ser preparada de tal manera que el contador de centelleo líquido, esté cuantificando una mezcla homogénea de muestra y solución centelladora.

Una clásica solución centelladora acuoaceptora, está compuesta de varios componentes:

a. Un solvente, que convierte la energía cinética de radiación Beta, en energía de excitación y transfiere esta energía a las moléculas del centellador primario.

b. Un centellador primario, que convierte la energía de excitación en fotones (energía luminosa de 3500 a 4000 Å).

c. Un centellador secundario, que corre la longitud de onda de la luz emitida de los fotones, en una respuesta en un rango de longitud de onda óptima para los tubos fotomultiplicadores.
Esto se debe a que la longitud de onda, cae fuera de la curva de respuesta espectral del fotomultiplicador. Este absorbe la energía luminosa del centellador primario y la transforma en otra mayor longitud de onda, entre 4200 y 4800 Å, que corresponde a la respuesta del fotomultiplicador.

d. Un emulsionante, que es una sustancia química que forma una emulsión homogénea y estable, a través de la formación de miscelas con soluciones acuosas y solventes orgánicos.

Los cuantos luminosos que llegan al fotomultiplicador originan una corriente final que se recoge en el ánodo. Esta se convierte en un pulso que puede ser contado, y las cuentas por unidad de tiempo son directamente proporcionales a la actividad de tritio.

EQUIPAMIENTO Y MATERIALES

- Viales plásticos de 20 mL
- Equipo Analizador de Centelleo Líquido Tri Carb 2550 TR / AB Packard™. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*

REACTIVOS

- Solución centelladora Insta Gel XF Packard™
- Solución estándar de agua tritiada. La solución estándar de agua tritiada se prepara a partir de una solución madre, de modo tal, de tener luego de la dilución, aproximadamente 2500 dpm de tritio/mL
- Agente quencheante: Tetracloruro de Carbono

PROCEDIMIENTO

Preparación de muestras

Se pipetean dentro de cada vial, 10 mL de muestra de agua y 10 mL de solución centelladora Insta Gel XF.

Preparación de blancos

Se pipetean en dos viales 10 mL de agua destilada usada como blanco y 10 mL de solución centelladora Insta Gel XF.

Preparación de patrones

Se pipetean por triplicado 10 mL de agua destilada usada como blanco; 0,05 mL de solución estándar de agua tritiada y 10 mL de solución centelladora Insta Gel XF.

Los patrones tienen por finalidad, controlar el funcionamiento del equipo analizador de centelleo líquido. Se cierran los viales y se agitan para lograr una buena homogeneización. Se enumeran los viales y se colocan para su medición en el equipo analizador de centelleo líquido, ver *CL-01*.

Se dejan en la oscuridad por lo menos 30 minutos antes de comenzar la medición y se mide 100 minutos cada muestra.

CÁLCULOS

Para obtener el valor de la Actividad de la muestra por mL, se procede de la siguiente manera:

- se determina para blancos y muestras, la eficiencia que les corresponde, entrando en la Curva de Quenching. (Ver más adelante) y,
- se calcula para cada muestra, el factor de multiplicación, para obtener el resultado en Bq/mL.

$$M\ (Bq/mL) = (cpm\ M - cpm\ B) \div (Ef \times V \times 2{,}22 \times 27)$$

donde

M	= Actividad de la muestra en Bq/mL
cpm M	= Contaje en cpm de cada muestra
cpm B	= Contaje en cpm del blanco
Ef	= Valor de eficiencia con que se mide cada muestra. Se obtiene de la Curva de Quenching
V	= Volúmen de la muestra expresado en mL
2,22	= Valor que se usa para llevar el resultado a dpm/pCi
27	= Valor que se usa para llevar el resultado a Bq

$$L.D.(Bq/mL) = 3,3 \times (cpm\ B / t_{med})^{1/2} \div (Ef \times V \times 2,22 \times 27)$$

El Límite de Detección del método es de $3,04\ 10^{-3}$ Bq/mL para tiempos de medición de 100 minutos.

Las condiciones de medición son:

Centellador: Insta Gel XF Packard

Tipo de vial: Plástico

Equipo: Tri Carb 2550 TR / AB Packard™

Ventana: 0,5 – 11,5 keV

Eficiencia de medición: 22,72%

Factor de Mérito (FOM): 326,71

Blanco (cpm): 1,58

CURVA DE QUENCHING

La diferente coloración de las muestras de agua produce quenching variable, por lo cual cada muestra, se mide con una eficiencia distinta.

El equipo analizador usa para la medición de quenching, un sistema que combina en forma directa, el contaje de la muestra y el factor de quenching.

El mismo puede calcularse por el método del estándar interno, en la cual se puede construir una Curva de Quenching, de eficiencias en función del factor de quenching, en donde luego, queda registrada en la memoria del equipo analizador de centelleo líquido.

Con el fin de obtener un rango de quenching desde baja a alta eficiencia, se pipetean volúmenes variables de Tetracloruro de Carbono como agente quencheante en diferentes viales.

Se prepara una serie de 10 viales, con 10 mL de agua destilada usada como blanco; 0,05 mL de estándar de agua tritiada, 10 mL de solución centelladora Insta Gel XF y volúmenes variables de Tetracloruro de Carbono como agente quencheante, de tal manera que quede en cada vial, una actividad de aproximadamente 25 000 dpm y luego se colocan en el equipo analizador de centelleo líquido para su medición.

Se espera 30 minutos y luego se mide 10 minutos cada muestra, graficándose en el equipo analizador de centelleo líquido, eficiencia en función del factor de quenching.

Los viales se preparan de la siguiente forma:

Vial No. (mL)	Vol. Agua (mL)	Vol. Centellador (mL)	Vol. Std.Tritio (mL)	Vol. CCl_4 (mL)
1	10	10	0,05	-------
2	10	10	0,05	0,02
3	10	10	0,05	0,04
4	10	10	0,05	0,06
5	10	10	0,05	0,08
6	10	10	0,05	0,10
7	10	10	0,05	0,12
8	10	10	0,05	0,14
9	10	10	0,05	0,16
10	10	10	0,05	0,18

10.1. Determinación de uranio en agua por fluorimetría directa (U-01)

ANALITO: URANIO

TÉCNICA: FLUORIMETRÍA

MATRIZ: AGUA

LÍMITE DE DETECCIÓN: 15 μg U/L

APLICACIÓN

Este procedimiento es aplicable a todo tipo de muestras de agua. Cuando el contenido de uranio se encuentra por debajo del límite de detección de la presente técnica, se aplica el *Procedimiento U-02*.

La técnica analítica consiste en tomar una alícuota de la muestra, evaporar a sequedad, agregar fluoruro de sodio y fundir a 1100°C. Posteriormente se mide la fluorescencia emitida por el compuesto de uranio (λ = 555 nm), al ser excitado con luz ultravioleta (λ = 365 nm). Este proceso se realiza por quintuplicado. La concentración de U se obtiene de la curva de calibración realizada conjuntamente con la muestra.

EQUIPAMIENTO

- Fluorímetro para sólidos Jarrell-Ash, Division of Fisher Scientific Co. Model 1- USPAT: 2.710.924
- Gabinete de acero inoxidable equipado con dos lámparas infrarrojas
- Horno de fusión especialmente diseñado para fluorimetría. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Pinzas tipo Bruselas
- Cazoletas de platino de 18 mm de diámetro y 3 mm de profundidad

REACTIVOS

- Fluoruro de sodio, p.a.
- 2. Solución patrón de U; 0,15 – 0,20 μg/mL.

PROCEDIMIENTO

1. Tomar 5 alícuotas de 0,200 mL de la muestra y colocarlas en sendas cazoletas de platino.
2. Realizar una curva de calibración tomando por quintuplicado 0,050, 0,100, 0,150 y 0,200 mL de la solución patrón de U.
3. Evaporar a sequedad el contenido de las cazoletas bajo lámpara infrarroja.
4. Agregar 300 mg de NaF en cada cazoleta.

5. Tomar 5 cazoletas vacías y agregar 300 mg de NaF en cada una, para ser usadas como blancos.
6. Fundir a 1100°C en el horno de fusión durante 5 minutos, intercalando simultáneamente muestras, curva de calibración y blancos.
7. Dejar enfriar 10 minutos y medir en el fluorímetro UV la fluorescencia emitida por el compuesto de uranio.

CÁLCULOS

1. Calcular la recta *μg U vs. señal* por regresión lineal con los datos de la curva y de los blancos.
2. Interpolar la señal de la muestra para obtener los *μg U* correspondientes.

Luego la concentración de uranio en agua es:

$$C\left(\mu g\ U/L\right) = \frac{\mu g\ de\ U\ en\ la\ cazoleta}{0.200\ mL} \cdot \frac{1000\ mL}{1L}$$

donde 0,200 mL es el volumen de la alícuota de muestra medida en la cazoleta.

LÍMITE DE DETECCIÓN

El límite de detección se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$LD = k \cdot S_B$$

donde

k = es el factor numérico elegido de acuerdo al nivel de confianza (NC) deseado para mediciones cuyos errores siguen una distribución normal:

k = 2 para 95% de NC

k = 3 para 99,86% de NC

S_B = es la desviación estándar del blanco, obtenida por propagación de errores (en μg U/L):

$$S_B = \frac{\sqrt{S_a^{\,2} + b^2 S_m^{\,2} + m^2 S_b^{\,2}} \cdot 1000}{V}$$

donde

S_a = es la desviación estándar de la ordenada al origen, obtenida por cálculos de errores en regresión lineal, en μg U

S_m = es la desviación estándar de la pendiente, obtenida de los mismos cálculos, en μg U/señal

S_b = es la desviación estándar de la señal del blanco, obtenida de una serie de *n* mediciones

b = es la señal del blanco

m = es la pendiente de la curva de calibración (recta de regresión lineal)

V = es el volumen de la alícuota de la muestra de agua (0,200 mL)

El valor de LD obtenido es 15 μg U/L, para el 95% de NC.

ERROR

La desviación estándar de la concentración de U, S_C (en μg U/L), se obtiene por propagación de errores:

$$S_C = \frac{\sqrt{S_a^2 + x^2 S_m^2 + m^2 S_x^2} \cdot 1000}{V}$$

donde

x = es la señal de la muestra

S_x = es la desviación estándar de la señal de la muestra dado por el equipo de medición, en el caso de realizarse una medición; pero si se tratase de varias mediciones (generalmente $n = 5$) el error en x estará dado por el σ_{N-1}.

Luego el resultado se expresa con dos S_C para un 95% de nivel de confianza: $C \pm 2\ S_C$

REFERENCIAS

1. Winefordner y Long, “Limit of detection”, Analytical Chemistry, vol. 55, N° 7, June 1983, pag. 712 A - 724 A.

2. Journal of Analytical Chemistry, volume 28, no.11, November 1956.

10.2. Determinación de uranio en aguas ambientales por fluorimetría (U-02)

ANALITO: URANIO

TÉCNICA: FLUORIMETRÍA

MATRIZ: AGUA

LÍMITE DE DETECCIÓN: 0,2 μg U/L

APLICACIÓN

Este procedimiento se aplica en la determinación de bajos contenidos de uranio en muestras de agua. Generalmente, las muestras de agua de origen ambiental no pueden determinarse por fluorimetría directa ya que en esos casos es necesario contar con una técnica más sensible.

El método consiste en tomar como mínimo un litro de la muestra y coprecipitar el uranio con $CaHPO_4$. Luego se disuelve el precipitado en medio nítrico y se determina la masa de U presente en esta solución mediante fluorimetría según el *Procedimiento U-01*.

EQUIPAMIENTO

- Fluorímetro para sólidos Jarrell-Ash, Division of Fisher Scientific Co. Model 1- USPAT: 2.710.924
- Gabinete de acero inoxidable equipado con dos lámparas infrarrojas
- Horno de fusión especialmente diseñado para fluorimetría. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Centrífuga de pie, con capacidad para recipientes de 250 mL.
- Recipientes de vidrio Pyrex™ de base redonda (denominados mamaderas), de 250 mL, para ser usados en la centrífuga.
- Agitador magnético.
- Pinzas tipo Bruselas.
- Cazoletas de platino de 18 mm de diámetro y 3 mm de profundidad.

REACTIVOS

- Fluoruro de sodio, NaF, p.a.
- Solución patrón de U; 0,15 – 0,20 μg / mL
- Fosfato ácido de Calcio, $CaHPO_4$, p.a.
- Acido nítrico, HNO_3 p.a.
- Hidróxido de sodio, NaOH 10M

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

1. Medir 1 L de la muestra de agua.
2. Agregar 1 mL de HNO_3 cc.

3. Agregar 200 mg de $CaHPO_4$ en agitación constante, con agitador magnético, hasta disolución total.
4. Agregar gota a gota NaOH 10 M hasta precipitar a pH 10.
5. Dejar en digestión hasta el día siguiente.
6. Luego, sin mover el vaso de precipitado, hacer sifón para retirar la mayor cantidad de líquido sobrenadante, hasta un volumen de aproximadamente 200 mL.
7. Resuspender y trasvasar a un vaso de centrífuga (mamadera). Enjuagar el vaso de precipitado con agua destilada y agregar los enjuagues a la mamadera.
8. Centrifugar durante 15 minutos a 1600 rpm.
9. Eliminar el sobrenadante.
10. Disolver el precipitado con 2 mL de HNO_3 cc, y trasvasar a un vial de centelleo, utilizando pipetas de transferencia descartables.
11. Lavar la mamadera con 2 porciones de 1 mL de HNO_3 cc y trasvasar al vial.
12. Completar a 5,00 ó 10,0 mL con agua destilada y homogeneizar.

PROCEDIMIENTO

Medir por quintuplicado 0,200 mL de la solución obtenida en cazoletas de platino y continuar como en el *Procedimiento U-01*.

CÁLCULOS

El cálculo de los μg de U en la cazoleta, correspondiente a la muestra, se obtiene como en el *Procedimiento U-01*. Para calcular la concentración de U en agua, la fórmula es la siguiente:

$$C\left(\mu g\ U/L\right) = \frac{\mu g\ de\ U\ en\ la\ cazoleta}{0.200\ mL} \cdot \frac{r\ mL}{1L}$$

donde *r* es el volumen en el cual se retoma el residuo (5-10 mL).

LÍMITE DE DETECCIÓN

El límite de detección se calcula empleando el valor obtenido según el *Procedimiento U-01* y afectándolo por el Factor de Dilución.

Para un volumen inicial de un litro de muestra y un volumen final de 10 ml el límite de detección es 0,2 μ g U/L.

REFERENCIAS

1. Winefordner y Long, “Limit of detection”, Analytical Chemistry, vol. 55, N° 7, June 1983, pag. 712 A - 724 A.
2. Journal of Analytical Chemistry, volume 28, no.11, November 1956.

10.3. Determinación de uranio por fluorimetría en filtros (U-03)

ANALITO: URANIO

TÉCNICA: FLUORIMETRÍA

MATRIZ: FILTRO

LÍMITE DE DETECCIÓN: 0,05 μg U/filtro

APLICACIÓN

Se describe un procedimiento para la determinación de uranio en filtros. Existe una preparación de la muestra previa a la fluorimetría que depende del tipo de filtro. En caso de tratarse de filtros de papel o de acetato de celulosa, los mismos se calcinan a 450°C, se llevan a volumen conocido con HNO_3 8M, y luego se procede a la determinación de uranio por fluorimetría. Si los filtros son de fibra de vidrio se lleva a cabo un ataque ácido que incluye HF.

EQUIPAMIENTO

- Fluorímetro para sólidos Jarrell-Ash, Division of Fisher Scientific Co. Model 1- USPAT: 2.710.924
- Gabinete de acero inoxidable equipado con dos lámparas infrarrojas
- Horno de fusión especialmente diseñado para fluorimetría. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Pinzas tipo Bruselas
- Cazoletas de platino de18 mm de diámetro y 3 mm de profundidad
- Plancha calefactora de 100-700°C, regulable

REACTIVOS

- Fluoruro de sodio, NaF, p.a.
- Solución patrón de U; 0,15-0,20 μg/mL
- Solución de ácido nítrico, HNO_3 8 M
- H_2O_2 100 volúmenes, p.a.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. Filtros de papel o de acetato de celulosa

1. Colocar el papel de filtro (sweep-test, filtro proveniente de una toma de muestra de aire) en un vial de centelleo líquido. Tapar con papel de aluminio y realizarle una perforación.

2. Muflar a 450°C hasta destrucción total del soporte, aproximadamente 10 horas.

3. Agregar 2 mL de HNO_3 8 M, calentar hasta disolución total en plancha calefactora, dejar enfriar y llevar a volumen final de 5 ml con agua destilada.

B. Filtros de fibra de vidrio

1. Colocar el papel de filtro en un vaso de precipitados de Teflon™ de base grafitada y agregar un volumen apropiado de HNO_3 8M y HF cc dependiendo del tamaño del filtro. Calentar sobre plancha calefactora hasta la disolución total de la matriz.
2. Evaporar casi a sequedad y mineralizar con pequeños agregados, gota a gota, de una mezcla $HNO_3 + H_2O_2$ (1+1).
3. Retomar el residuo en 5,00 mL de HNO_3 8M.

PROCEDIMIENTO

Medir por quintuplicado 0,200 mL de la solución obtenida en cazoletas de platino y continuar según el *Procedimiento U-01*.

CÁLCULOS

El cálculo de los "µg de U en la cazoleta", correspondiente a la muestra, se obtiene como en el *Procedimiento U-01*. Para calcular la concentración de U en filtros, la fórmula es la siguiente:

$$C(\mu gU/filtro) = \frac{\mu g\, de\, U\, en\, la\, cazoleta}{0.200 mL} \times V\, mL$$

donde

V = es el volumen en el cual se retoma el residuo (5 mL)

LÍMITE DE DETECCIÓN

El límite de detección se calcula empleando el valor obtenido según el *Procedimiento U-01* y afectándolo por el Factor de Dilución.

Para un volumen final de 5 ml el límite de detección es 0,05 µ g U/ filtro.

REFERENCIAS

1. Winefordner y Long, "Limit of detection", Analytical Chemistry, vol. 55, N° 7, June 1983, pag. 712 A - 724 A.

2. Journal of Analytical Chemistry, volume 28, no.11, November 1956.

10.4. Determinación de uranio en suelos por fluorimetría (U-04)

ANALITO: URANIO

TÉCNICA: FLUORIMETRÍA

MATRIZ: SUELO

LÍMITE DE DETECCIÓN: 1 μg U/g

APLICACIÓN

Se describe un procedimiento para la determinación de uranio en suelos y sedimentos. Se toma una alícuota del suelo y se procede a una lixiviación con ácidos HNO_3, HF y $HClO_4$ en recipientes de Teflon™ cerrados herméticamente, denominados "bombas Parr". Esta solución se lleva a un volumen conocido y se procede a la determinación de U por fluorimetría según el *Procedimiento U-01*.

EQUIPAMIENTO

- Fluorímetro para sólidos Jarrell-Ash, Division of Fisher Scientific Co. Model 1- SPAT: 2.710.924
- Gabinete de acero inoxidable equipado con dos lámparas infrarrojas
- Horno de fusión especialmente diseñado para fluorimetría. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Pinzas tipo Bruselas
- Cazoletas de platino de 18 mm de diámetro y 3 mm de profundidad
- Bombas Parr. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Estufa de laboratorio

REACTIVOS

- Fluoruro de sodio p.a.
- Solución patrón de U; 0,15-0,20 μg/mL
- Ácido nítrico, HNO_3 cc
- Ácido fluorhídrico, HF cc
- Ácido perclórico, $HClO_4$ cc

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

1. Pesar aproximadamente 0,2000 g de suelo en el recipiente de Teflon™ de la bomba Parr.
2. Agregar 4 mL de HNO_3 cc, de a gotas para evitar la reacción violenta debido a la presencia de carbonatos.

3. Agregar 6 mL de HF cc y 1 mL de $HClO_4$ cc. Cerrar herméticamente y colocar en estufa durante 4 horas a 150°C.
4. Dejar enfriar. Llevar a un volumen conocido.

PROCEDIMIENTO

Medir por quintuplicado 0,200 mL de la solución obtenida en cazoletas de platino y continuar como en el *Procedimiento U-01*.

CÁLCULOS

El cálculo de los μg de U en la cazoleta, correspondiente a la muestra, se obtiene como en el *Procedimiento U-01*. Para calcular la concentración de U en sedimentos, la fórmula es la siguiente:

$$C(\mu gU/g) = \frac{\mu g\, de U\, en la cazoleta}{0.200 mL \times M} \times V\, mL$$

donde

V = es el volumen al cual se lleva la solución ácida del suelo (20,0 ó 50,0 mL)

M = masa del suelo (en gramos)

LÍMITE DE DETECCIÓN

El límite de detección se calcula empleando el valor obtenido según el *Procedimiento U-01* y afectándolo por el Factor de Dilución.

Para 0,200 g de muestra y un volumen final de 20 ml, el límite de detección es 1 μg U/g de suelo.

REFERENCIAS

1. Winefordner y Long, “Limit of detection”, Analytical Chemistry, vol. 55, N° 7, June 1983, pag. 712 A - 724 A.
2. Journal of Analytical Chemistry, volume 28, no.11, November 1956.

10.5. Determinación de uranio en aguas por espectrometría alfa (U-05)

ANALITO: URANIO

TÉCNICA: ESPECTROMETRÍA ALFA

MATRIZ: AGUA

LÍMITE DE DETECCIÓN: 0,20 mBq/L

APLICACIÓN

Permite determinar la actividad de uranio en muestras de agua de distinta procedencia: agua de mar, agua de lago, agua potable, agua de napa, etc.

La muestra de agua es tratada con HNO_3 cc sobre plancha calefactora y su volumen es reducido hasta casi sequedad. Se mineraliza con pequeños agregados de HNO_3 cc y H_2O_2 (100 vol).

El residuo se disuelve en medio nítrico y el uranio (junto con otros actínidos) se coprecipita con $Fe(OH)_3$. Este precipitado se disuelve en medio clorhídrico y se siembra en columna aniónica en HCl 9M. El uranio se eluye con HNO_3 8M. Se electrodeposita según el *Procedimiento G-01* y se mide por espectrometría alfa según el *Procedimiento Alfa-01.*

EQUIPAMIENTO

- Agitador magnético con calefacción
- Columnas de vidrio para intercambio iónico. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*

REACTIVOS

- Solución calibrada de U 232, como trazador
- Resina aniónica BIO-RAD™ AG 1 x 8 (100-200 mesh), forma Cl^-
- Resina aniónica BIO-RAD™ AG 1 x 8 (50-100 mesh), forma Cl^-
- Solución de Fe^{3+}, como portador, 10 mg/mL
- H_2O_2 p.a. 100 volúmenes
- CH_3OH p.a.
- NH_4 OH p.a.

PROCEDIMIENTO

1. Traspasar 1000 mL de muestra de agua a un vaso de precipitado.
2. Agregar una cantidad conveniente de trazador de U 232.
3. Agregar 20 mL de HNO_3 cc y calentar a reflujo sobre plancha calefactora durante 2 horas.

4. Evaporar la solución hasta casi sequedad.
5. Mineralizar con sucesivos agregados de HNO_3 cc y H_2O_2 (100 volúmenes).
6. Llevar a sequedad y disolver el residuo en 100 mL de HNO_3 5M u 8M. De ser necesario filtrar a través de papel de filtro Whatman 42.
7. Agregar 1 mL de la solución de Fe^{3+}.
8. Llevar a pH 4 con NH_4OH para precipitar el $Fe(OH)_3$.
9. Dejar en digestión 1 hora a 70°C y luego toda la noche a temperatura ambiente.
10. Filtrar el precipitado de $Fe(OH)_3$ a través de papel de filtro Whatman 42.
11. Disolver el precipitado en HCl 5M y lavar el papel de filtro con HCl 5M hasta que desaparezca el color amarillo totalmente.
12. Llevar a sequedad la solución de Fe^{3+} conteniendo el uranio (y otros actínidos si los hubiere) y disolver en HCl 9M en el menor volumen posible (aprox. 10-15 mL).
13. Sembrar la solución anterior en la columna aniónica BIO-RAD™ AG 1 x 8 (100-200 mesh) forma Cl^-, acondicionada con HCl 9M.
14. Lavar el vaso de precipitados, conteniendo la solución de uranio, con 4 porciones de 2-3 mL de HCl 9M y sembrar en la columna.
15. Descartar el eluido conteniendo Am, Th y Cm. En la matriz se retiene U, Pu, Po y gran parte del Fe presente.
16. Lavar la columna con 2 porciones de 40 mL de HCl 9M. Descartar esta fracción.
17. Pasar a través de la columna 100 mL de HNO_3 8M. De esta manera queda retenido el Pu y eluyen U y Fe.
18. Llevar el eluido a sequedad y mineralizar con sucesivos agregados de HNO_3 cc y H_2O_2 (100 vol.).
19. Disolver el residuo en 2 mL de HNO_3 10M y agregar 18 mL de CH_3OH p.a.
20. Sembrar esta solución en una columna aniónica BIO-RAD™ AG 1 x 8 (50-100 mesh), preacondicionada con HNO_3 1M-CH_3OH 90%. El uranio queda retenido en la columna y eluye el Fe.
21. Lavar la columna con 80 mL de la solución alcohólica para eliminar el Fe.
22. Eluir el uranio con 100 mL de HNO_3 8M.
23. Llevar a sequedad y mineralizar con HNO_3 cc y H_2O_2 (100 vol).
24. Electrodepositar el uranio según el *Procedimiento G-01*.
25. Medir por espectrometría alfa según *Procedimiento Alfa-01*.

CÁLCULOS

Para el cálculo de la concentración de uranio en aguas se utiliza la siguiente fórmula:

$$U\left(Bq/L\right)=\frac{C_A \cdot A_T}{C_T \cdot V}$$

donde

C_A = Cuentas del analito (U total, U 238 + U 234)

C_T = Cuentas del trazador (U 232)

A_T = Actividad agregada del trazador (Bq)

V = Volumen de la muestra (L)

LÍMITE DE DETECCIÓN

El límite de detección se calcula considerando las cuentas del fondo en la zona del espectro correspondiente al uranio.

Con un volumen de muestra de 1 litro, un detector de eficiencia 0,40 cpm/dpm y un rendimiento químico del 70%, el límite de detección de la técnica es de 0,20 mBq/L.

REFERENCIAS

EML Procedures Manual, HASL – 300, 28th Edition

10.6. Determinación de uranio en filtros por espectrometría alfa (U-06)

ANALITO: URANIO

TÉCNICA: ESPECTROMETRÍA ALFA

MATRIZ: FILTROS

LÍMITE DE DETECCIÓN: 0,20 mBq/filtro

APLICACIÓN

Permite determinar la actividad de uranio en muestras de filtros de acetato de celulosa, papel y fibra de vidrio.

El tratamiento previo se realiza según el *Procedimiento AT-01* y *AT-02*. La muestra se redisuelve en HCl 9M y se siembra en una columna aniónica. Luego se continúa según el *Procedimiento U-05.*

EQUIPAMIENTO

Ver *Procedimiento AT-01*, *AT-02* y *U-05*

REACTIVOS

- Solución patrón calibrada de U 232, como trazador
- Resina aniónica BIO-RAD™ AG 1 x 8 (100-200 mesh), forma Cl^-
- Resina aniónica BIO-RAD™ AG 1 x 8 (50-100 mesh)
- Solución de Fe^{3+}, como portador, 10 mg/mL
- H_2O_2 100 vol. p.a.
- CH_3OH p.a.

PROCEDIMIENTO

1. Agregar al filtro una cantidad conocida de trazador de U 232, de tal manera que la muestra quede totalmente impregnada en la solución trazadora.
2. Secar bajo lámpara infrarroja.
3. Para filtros de papel o de acetato de celulosa continuar según el *Procedimiento AT-01*, para filtros de fibra de vidrio continuar según el *Procedimiento AT-02.*
4. Redisolver el residuo en HCl 9M.
5. Continuar con el *Procedimiento U-05. Item 13.*

CÁLCULOS

Para el cálculo de la concentración de uranio por filtro, se utiliza la siguiente fórmula:

$$U\left(Bq/Filtro\right) = \frac{C_A \cdot A_T}{C_T}$$

donde

C_A = Cuentas del analito (U total, U 238 + U 235 + U 234)

C_T = Cuentas del trazador (U 232)

A_T = Actividad agregada del trazador (Bq)

LÍMITE DE DETECCIÓN

El límite de detección se calcula considerando las cuentas del fondo en la zona del espectro correspondiente al uranio.

Con un detector de eficiencia 0,40 cpm/dpm y un rendimiento químico del 70%, el límite de detección de la técnica es de 0,20 mBq/filtro.

10.7. Determinación de uranio en vegetales por espectrometría alfa (U-07)

ANALITO: URANIO

TÉCNICA: ESPECTROMETRÍA ALFA

MATRIZ: VEGETAL

LÍMITE DE DETECCIÓN: 10 mBq/kg

APLICACIÓN

Este procedimiento permite determinar la actividad de uranio en vegetales. La muestra se lleva a cenizas en una mufla con rampa de temperatura. El residuo se disuelve en HNO_3, y de ser necesario, en HF para la eliminación de la sílice.

Para la separación del uranio del resto de los actínidos (si los hubiese) se utiliza una resina de intercambio aniónico y se realizan extracciones con TBP/ tolueno. Una vez purificado el uranio, se procede a la electrodeposición según el *Procedimiento G-01*. La medición se realiza por espectrometría alfa según *Procedimiento Alfa-01*.

EQUIPAMIENTO

- Columnas de vidrio para intercambio iónico. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Mufla con rampa programable, de 100°C hasta 600°C
- Para electrodeposición. Ver *Procedimiento G-01*

REACTIVOS

- Solución patrón calibrada de U 232, como trazador
- Resina aniónica BIO-RAD™ AG 1 x 8 (100-200 mesh), forma Cl^-
- Tributilfosfato (TBP), 50% en tolueno

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Seguir el mismo protocolo que *Am-02* para el tratamiento preliminar de la muestra, hasta la disolución de la misma en HCl 9M.

PROCEDIMIENTO

1. Sembrar en la columna aniónica BIO-RAD™ AG 1 x 8 (100-200 mesh), previamente acondicionada con HCl 9M, la solución proveniente de la disolución del vegetal en HCl 9M. **Nota**: ver *Procedimiento G-03*: Preparación de columnas.

2. Lavar la columna con 80 mL de HCl 9M.
3. Descartar los líquidos de siembra y lavado.
4. Eluir el uranio con 150 mL de HNO_3 8M.
5. Llevar a sequedad, mineralizar con HNO_3 y H_2O_2 (100 volúmenes) y disolver el residuo con 20 mL de HNO_3 5M.
6. Extraer el uranio con 20 mL de TBP al 50% en tolueno.
7. Lavar la fase orgánica con 20 mL de HNO_3 5M.
8. Reextraer el uranio de la fase orgánica con dos porciones de 20 mL c/u de agua destilada.
9. Juntar las fracciones conteniendo el uranio. Llevar a sequedad.
10. Electrodepositar según *Procedimiento G-01*.
11. Medir por espectrometría alfa con detector de ión implantado, según *Procedimiento Alfa-01*.

CÁLCULOS

Para el cálculo de la concentración de uranio en vegetales, se utiliza la siguiente fórmula:

$$U\left(Bq/kg\right)=\frac{C_A \cdot A_T}{C_T \cdot M} \cdot 1000$$

donde

C_A = Cuentas del analito (U total, U 238 + U 235 + U 234)

C_T = Cuentas del trazador (U 232)

A_T = Actividad agregada del trazador (Bq)

M = masa del vegetal (g)

LÍMITE DE DETECCIÓN

El límite de detección se calcula considerando las cuentas del fondo en la zona del espectro correspondiente al uranio.

Para una muestra de 10 g de vegetal, con un detector de eficiencia 0,40 cpm/dpm y un rendimiento químico del 80%, el límite de detección de la técnica es de 10 mBq/kg.

REFERENCIAS

1. Winefordner y Long, “Limit of detection”, Analytical Chemistry, vol. 55, N° 7, June 1983, pag. 712 A - 724 A.
2. Journal of Analytical Chemistry, volume 28, no.11, November 1956.

10.8. Determinación de uranio en suelos y sedimentos por espectrometría alfa (U-08)

ANALITO: URANIO

TÉCNICA: ESPECTROMETRÍA ALFA

MATRIZ: SUELO

LÍMITE DE DETECCIÓN: 10 mBq/kg

APLICACIÓN

La presente técnica permite determinar la actividad de uranio en suelos y sedimentos. La muestra se lleva a 500°C para eliminar la materia orgánica y luego se procede a una lixiviación con agua regia y posteriormente con HNO_3+ HF (1+1). Los lixiviados se llevan casi a sequedad y se mineralizan con H_2O_2 y HNO_3 cc. El residuo se disuelve en HNO_3 4M y el U se coprecipita primero con oxalato de calcio y luego con hidróxido férrico. El precipitado se disuelve en HCl 9M.

Para la separación del uranio del resto de los actínidos (si los hubiere) se utiliza resina de intercambio aniónico y se realizan extracciones con TBP/ tolueno. Una vez separado el uranio se procede a la electrodeposición según *Procedimiento G-01*. La medición se realiza por espectrometría alfa según *Procedimiento Alfa-01*.

EQUIPAMIENTO

- Columnas de vidrio para intercambio iónico. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Mufla con rampa programable, de 100°C-600°C
- Materiales para electrodeposición, ver *Procedimiento G-01*

REACTIVOS

- Solución calibrada de U 232, como trazador
- Resina aniónica BIO-RAD™ AG 1 x 8 (100-200 mesh), forma Cl^-
- Tributilfosfato (TBP), 50% en tolueno
- Solución de Fe^{+3} como portador, 10 mg/mL

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

1. Pesar por duplicado aproximadamente 20 g de muestra en cápsulas de porcelana.
2. Agregar una cantidad conocida de trazador. **Nota**: Ver *Procedimiento G-02*.
3. Tratar en mufla a 100°C por 24 horas y luego elevar la temperatura en rangos de 100°C cada 3 horas hasta llegar a los 550°C. Esto permite en esta primera etapa, eliminar la humedad y materiales volátiles, para finalmente destruir la materia orgánica. En algunos casos son necesarios tratamientos con NH_4NO_3.

4. Retomar cuidadosamente el residuo con HNO_3 50%, trasvasándolo a un recipiente plástico de centrífuga de 250mL.
5. Agregar 90 mL de agua regia HNO_3 + HCl (1+3) y mantener a la solución con agitación a 70°C durante toda la noche.
6. Centrifugar y separar el sobrenadante por decantación recibiéndolo en un vaso de 1 L de Teflon™ con base grafitada.
7. Repetir el ataque ácido, la centrifugación y la decantación dos veces más, juntando los sobrenadantes en el mismo vaso de Teflon™.
8. Tratar al residuo del centrifugado durante 3 horas con 50 mL de HNO_3 + HF (1+ 1) con agitación a 70°C.
9. Centrifugar y agregar el sobrenadante al vaso de Teflon™. Repetir esta operación dos veces. A medida que se van retomando las soluciones de lixiviación, se van evaporando sobre plancha calefactora hasta llegar casi a sequedad.
10. Mineralizar con H_2O_2 gota a gota y tratar con HCl hasta la eliminación total del HF.
11. Agregar 3 g de H_3BO_3.
12. Llevar a sequedad y retomar en 250 mL de HNO_3 4M.
13. Agregar 50 g de ácido oxálico por cada litro de solución y 200 mg de $Ca(NO_3)_2$ cada 250 mL de solución.
14. Precipitar con NH_4OH a pH 2.
15. Mantener con calor y agitación durante 4 horas. Dejar reposar toda la noche.
16. Trasvasar la solución a un recipiente de plástico de centrífuga, de 250 mL de capacidad. Centrifugar.
17. Trasvasar las aguas madres a un vaso de vidrio, acidificar levemente y agregar $Ca(NO_3)_2$.
18. Repetir la precipitación y centrifugar en la misma botella utilizada en 16.
19. Descartar las aguas madres.
20. Disolver el precipitado con 30-40 mL de HNO_3 cc. Trasvasar la solución a un vaso de vidrio y llevar a sequedad
21. Dejar aproximadamente 5-6 horas sobre plancha calefactora a 400°C hasta total descomposición del oxalato.
22. Disolver el residuo con HNO_3 diluido y agregar 20 mg de Fe^{3+}.
23. Precipitar a pH 4 con NH_4OH. Este paso permite la recuperación de los actínidos de la muestra.
24. Filtrar en el mismo filtro anterior y lavar con agua caliente y NH_4OH diluido.
25. Descartar las aguas madres.
26. Disolver el residuo en el mismo filtro con HCl 9M.

PROCEDIMIENTO

1. Sembrar en la columna aniónica BIO-RAD™ AG 1 x 8 (100-200 mesh) previamente acondicionada con HCl 9M, la solución proveniente de la preparación de la muestra. **Nota**: ver *Procedimiento G-03*.
2. Lavar la columna con 80 mL de HCl 9M.

3. Descartar los líquidos de siembra y lavado.
4. Eluir el uranio con 150 mL de HNO_3 8M.
5. Llevar a sequedad, mineralizar con HNO_3 y H_2O_2 (100 vol) y disolver el residuo con 20 mL de HNO_3 5M.
6. Extraer el uranio con 20 mL de TBP al 50% en tolueno.
7. Lavar la fase orgánica con 20 mL de HNO_3 5M.
8. Reextraer el uranio de la fase orgánica con dos porciones de 20 mL c/u de agua destilada.
9. Juntar las fracciones conteniendo el uranio. Llevar a sequedad.
10. Electrodepositar según el *Procedimiento G-01*.
11. Medir por espectrometría alfa con detector de ión implantado, según *Procedimiento Alfa-01*.

CÁLCULOS

Para el cálculo de la concentración de uranio en suelos y sedimentos, se utiliza la siguiente fórmula:

$$U\left(Bq/kg\right)=\frac{C_A \cdot A_T}{C_T \cdot M} \cdot 1000$$

donde

C_A = Cuentas del analito (U total, U 238, U 234)

C_T = Cuentas del trazador (U 232)

A_T = Actividad agregada del trazador (Bq)

M = masa del suelo (g)

LÍMITE DE DETECCIÓN

El límite de detección se calcula considerando las cuentas del fondo en la zona del espectro correspondiente al uranio.

Para una masa de muestra de 20 g, un detector de eficiencia 0,40 cpm/dpm y un rendimiento químico del 60%, el límite de detección de la técnica es de 10 mBq/kg.

REFERENCIAS

1. Winefordner y Long, “Limit of detection”, Analytical Chemistry, vol. 55, N° 7, June 1983, pag. 712 A - 724 A.
2. Journal of Analytical Chemistry, volume 28, no.11, November 1956.

10.9. Determinación de uranio en orina por fluorimetría directa (U-09)

ANALITO: URANIO

TÉCNICA: FLUORIMETRÍA

MATRIZ: ORINA

LÍMITE DE DETECCIÓN: 15 μg U/L

APLICACIÓN

Este procedimiento es aplicable a muestras de orina. Cuando el contenido de uranio se encuentra por debajo del límite de detección de la presente técnica, se procede según *U-10* .

La técnica analítica consiste en tomar una alícuota de la muestra, evaporar a sequedad en cazoletas de platino, agregar fluoruro de sodio y fundir a 1100°C. Posteriormente se mide la fluorescencia emitida por el compuesto de uranio (λ = 555nm), al ser excitado con luz ultravioleta (λ = 365 nm). Este proceso se realiza por quintuplicado. La concentración de U se obtiene de la curva de calibración realizada conjuntamente con la muestra, empleando orina de personas no expuestas como matriz.

EQUIPAMIENTO

- Fluorímetro para sólidos Jarrell-Ash, Division of Fisher Scientific Co. Model 1- USPAT: 2.710.924
- Gabinete de acero inoxidable equipado con dos lámparas infrarrojas
- Horno de fusión especialmente diseñado para fluorimetría. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Pinzas tipo Bruselas
- Cazoletas de platino de 18 mm de diámetro y 3 mm de profundidad

REACTIVOS

- Fluoruro de sodio p.a.
- Solución estándar de U; 0,15 – 0,20 μg/mL

PROCEDIMIENTO

1. Tomar 5 alícuotas de 0,200 mL de la muestra y colocarlas en sendas cazoletas de platino.
2. Medir por quintuplicado 0 - 0,050 - 0,100 - 0,150 y 0,200 mL de la solución patrón de U y colocar en cazoletas de platino, para realizar una curva de calibración.
3. Evaporar a sequedad el contenido de las cazoletas (muestra y curva) bajo lámpara infrarroja.
4. Agregar 0,200 mL de orina “blanco” en las cazoletas empleadas para la curva de calibración.

5. Evaporar a sequedad el contenido de las cazoletas (curva) bajo lámpara infrarroja.
6. Agregar 300 mg de NaF en cada cazoleta.
7. Fundir a 1100°C en el horno de fusión durante 5 minutos, intercalando simultáneamente muestras, curva de calibración y blancos.
8. Dejar enfriar 10 minutos y medir en el fluorímetro UV la fluorescencia emitida por el compuesto de uranio.

CÁLCULOS

1. Calcular la recta *μg U vs. señal* por regresión lineal con los datos de la curva.
2. Interpolar la señal de la muestra para obtener los *μg U* correspondientes.

Luego la concentración de uranio en orina es:

$$C\left(\mu g\ U/L\right) = \frac{\mu g\ de\ U\ en\ la\ cazoleta}{0.200\ mL} \cdot \frac{1000\ mL}{1L}$$

donde 0,200 mL es el volumen de la alícuota de muestra colocada en la cazoleta.

LÍMITE DE DETECCIÓN

El límite de detección se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$LD = k \cdot S_B$$

donde

k = es el factor numérico elegido de acuerdo al nivel de confianza (NC) deseado para mediciones cuyos errores siguen una distribución normal:

k = 2 para 95% de NC

k = 3 para 99,86% de NC

S_B = es la desviación estándar del blanco, obtenida por propagación de errores (en μg U/L):

$$S_B = \frac{\sqrt{S_a{}^2 + b^2 S_m{}^2 + m^2 S_b{}^2} \cdot 1000}{V}$$

donde

S_a = es la desviación estándar de la ordenada al origen, obtenida por cálculos de errores en regresión lineal, en μg U

S_m = es la desviación estándar de la pendiente, obtenida de los mismos cálculos, en μg U/señal

S_b = es la desviación estándar de la señal del blanco, obtenida de una serie de *n* mediciones

b = es la señal del blanco

m = es la pendiente de la curva de calibración (recta de regresión lineal)

V = es el volumen de la alícuota de la muestra de orina (0,200 mL)

El valor de LD obtenido es 15 μg U/L, para el 95% de NC.

ERROR

La desviación estándar de la concentración de U, S_C (en μg U/L), se obtiene por propagación de errores:

$$S_C = \frac{\sqrt{S_a^2 + x^2 S_m^2 + m^2 S_x^2} \cdot 1000}{V}$$

donde

x = es la señal de la muestra

S_x = es la desviación estándar de la señal de la muestra dado por el equipo de medición, en el caso de realizarse una medición; pero si se tratase de varias mediciones (generalmente $n = 5$) el error en x estará dado por el σ_{N-1}.

Luego el resultado se expresa con dos S_C para un 95% de nivel de confianza: $C \pm 2\ S_C$

REFERENCIAS

1. Winefordner y Long, “Limit of detection”, Analytical Chemistry, vol. 55, N° 7, June 1983, pag. 712 A - 724 A.

2. Journal of Analytical Chemistry, volume 28, no.11, November 1956.

10.10. Determinación de bajos contenidos de uranio en orinas (U-10)

ANALITO: URANIO

TÉCNICA: FLUORIMETRÍA

MATRIZ: ORINA

LÍMITE DE DETECCIÓN: 0,075 μg U/L

APLICACIÓN

Este procedimiento se aplica en la determinación de bajos contenidos de uranio en muestras de orinas, debido a ello es necesario contar con una técnica más sensible.

El método consiste en tomar como mínimo un litro de la muestra y coprecipitar el uranio con $CaHPO_4$. Luego se disuelve el precipitado en medio nítrico y se determina la masa de U presente en esta solución mediante fluorimetría según el *Procedimiento U-09*.

EQUIPAMIENTO

- Fluorímetro para sólidos Jarrell-Ash, Division of Fisher Scientific Co. Model 1- USPAT: 2.710.924
- Gabinete de acero inoxidable equipado con dos lámparas infrarrojas
- Horno de fusión especialmente diseñado para fluorimetría. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Centrífuga de pie, con capacidad para recipientes de 250 mL.
- Recipientes de vidrio Pyrex™ de base redonda (denominados mamaderas), de 250 mL, para ser usados en la centrífuga.
- Agitador magnético.
- Pinzas tipo Bruselas.
- Cazoletas de platino de 18 mm de diámetro y 3 mm de profundidad.

REACTIVOS

- Fluoruro de sodio, NaF, p.a.
- Solución patrón de U; 0,15-0,20 μg/mL
- Fosfato ácido de calcio, $CaHPO_4$, p.a.
- Acido nítrico, HNO_3 p.a.
- Hidróxido de sodio, NaOH 10M
- Peróxido de Hidrógeno, 100 volúmenes p.a.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

1. Medir 1 L de la muestra de orina.
2. Agregar 10 mL de HNO_3 cc y calentar sobre plancha calefactora durante una hora a 80°C.
3. Agregar 200 mg de $CaHPO_4$ en agitación constante hasta disolución total.

4. Agregar gota a gota, y con agitación continua, NH_4OH cc hasta precipitar a pH 10.
5. Dejar en digestión hasta el día siguiente.
6. Luego, sin mover el vaso de precipitado, hacer sifón para retirar la mayor cantidad de líquido sobrenadante, hasta un volumen de aproximadamente 200 mL.
7. Trasvasar a un vaso de centrífuga (mamadera).
8. Centrifugar durante 15 minutos a 1600 rpm.
9. Eliminar el sobrenadante.
10. Disolver el precipitado con 5 mL de HNO_3 cc, y trasvasar al vaso utilizado en 6, utilizando pipeta de transferencia descartable.
11. Lavar la mamadera con 2 porciones de 5 mL de HNO_3 (c) y trasvasar vaso utilizado en 6.
12. Mineralizar con pequeñas porciones de HNO_3 y H_2O_2 de 100 volúmenes sobre plancha calefactora, hasta obtener un residuo totalmente blanco.
13. Hidrolizar a reflujo sobre plancha calefactora.
14. En caso de persistir un pequeño residuo, disolver con gotas de ácido nítrico.
15. Trasvasar cuantitativamente a vial de centelleo.
16. Completar a 5,00 ó 10,0 mL con ácido nítrico 5M.

PROCEDIMIENTO

Medir por quintuplicado 0,200 mL de la solución obtenida en cazoletas de platino y continuar como en el *Procedimiento U-09*.

CÁLCULOS

El cálculo de los μg de U en la cazoleta, correspondiente a la muestra, se obtiene como en el *Procedimiento U-09*. Para calcular la concentración de U en orina, la fórmula es la siguiente:

$$C\left(\mu g\ U/L\right) = \frac{\mu g\ de\ U\ en\ la\ cazoleta}{0.200\ mL} \cdot \frac{r\ mL}{1L}$$

donde *r* es el volumen en el cual se retoma el residuo (5-10 mL).

LÍMITE DE DETECCIÓN

El límite de detección se calcula empleando el valor obtenido según el *Procedimiento U-09* y afectándolo por el Factor de Dilución.

Para un volumen inicial de un litro de muestra y un volumen final de 5 mL el límite de detección es 0,075 μg U/L.

REFERENCIAS

1. Winefordner y Long, “Limit of detection”, Analytical Chemistry, vol. 55, N° 7, June 1983, pag. 712 A - 724 A.
2. Journal of Analytical Chemistry, volume 28, no.11, November 1956.

11.1. Determinación de plutonio, uranio, americio y curio en suelos y sedimentos (M-01)

ANALITO: Pu, U, Am, Cm **TÉCNICA:** ESPECTROMETRÍA ALFA

MATRIZ: SUELO

APLICACIÓN

Este procedimiento describe un método para la separación, purificación y medición de uranio, plutonio, americio y curio en suelos y sedimentos. La muestra se trata con mezclas de ácidos para su disgregación. Los radionucleidos se separan a través de resina aniónica y posteriormente se purifican con solventes adecuados e intercambio aniónico y catiónico. Finalmente se electrodepositan, según *Procedimiento G-01* y se miden por espectrometría alfa, según *Procedimiento Alfa-01*.

EQUIPAMIENTO

- Plancha calefactora
- Columnas de vidrio para intercambio iónico. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Mufla con rampa de temperatura
- Agitador magnético con calefacción

REACTIVOS

- Soluciones calibradas de Am 243, Cm 242, U 232 y Pu 242, como trazadores
- $NH_2OH.HCl$ 0,7% (P/V) en HCl 0,2 M
- Fe^{+3} como portador
- $NaNO_2$ (s)
- Resina de intercambio iónico Bio Rad™ AG 1 x 8 (100-200 mesh) forma Cl^-

PROCEDIMIENTO

A. Preparación de la muestra

1. Pesar por duplicado aproximadamente 20 g de muestra en cápsulas de porcelana.

2. Agregar una cantidad conocida de cada uno de los trazadores.

3. Tratar en mufla a 100°C por 24 horas y luego elevar la temperatura en rangos de 100°C cada 3 horas hasta 550°C. Esto permite, en esta primera etapa, eliminar la humedad y materiales volátiles, para finalmente destruir la materia orgánica. En algunos casos son necesarios tratamientos con NH_4NO_3.

4. Retomar cuidadosamente la muestra con agua destilada y HNO_3 (1:1), trasvasándola a un recipiente plástico de 250 mL.

5. Atacar con 90 mL de agua regia HNO_3: HCl (1:3) con agitación y temperatura durante toda la noche.
6. Centrifugar y separar el sobrenadante por decantación recibiéndolo en un vaso de un litro de Teflon™ con base grafitada.
7. Repetir el ataque ácido, centrifugación y decantación dos veces más combinando los sobrenadantes en el mismo vaso de Teflon™.
8. Tratar al residuo del centrifugado con 50 mL de HNO_3 : HF (1:1) con agitación y temperatura.
9. Centrifugar y agregar el sobrenadante al vaso de Teflon™. Repetir esta operación dos veces. A medida que se van retomando las soluciones de lixiviación, se van evaporando sobre plancha calefactora hasta llegar casi a sequedad.
10. Mineralizar con H_2O_2 y tratar con HCl hasta la eliminación total del HF.
11. Agregar 3 g de H_3BO_3.
12. Llevar a sequedad y retomar en 250-500 mL de HNO_3 4M.
13. Agregar 50 g de ácido oxálico por cada litro de solución y 200 mg de $Ca(NO_3)_2$ cada 250 mL de solución.
14. Precipitar con NH_4OH a pH 2
15. Mantener con calor y agitación durante 4 horas. Dejar reposar toda la noche.
16. Trasvasar la solución a un recipiente de plástico de centrífuga, de 250 mL de capacidad. Centrifugar.
17. Trasvasar las aguas madres a un vaso de vidrio, acidificar levemente y agregar $Ca(NO_3)_2$.
18. Repetir la precipitación y centrifugar en la misma botella utilizada en 17.
19. Descartar las aguas madres.
20. Disolver el precipitado con 30-40 mL de HNO_3 cc. Trasvasar la solución a un vaso de vidrio y llevar a sequedad
21. Dejar aproximadamente 5-6 horas sobre plancha calefactora a 400°C hasta total descomposición del oxalato.
22. Disolver el residuo con HNO_3 diluido y agregar 20 mg de Fe^{3+}.
23. Precipitar a pH 4 con NH_4OH. Este paso permite la recuperación de los actínidos de la muestra.
24. Filtrar en el mismo filtro anterior y lavar con agua caliente y NH_4OH diluido.
25. Descartar las aguas madres.
26. Disolver el residuo en el mismo filtro con HCl 9M.

B. Separación de los actínidos

1. Armar las columnas de intercambio iónico según *Procedimiento G-03.*
2. Acondicionar la columna de intercambio aniónico Bio- Rad™AG 1x 8 (100-200 mesh) en HCl 9M.
3. Sembrar la solución anterior que contiene los actínidos.

4. Lavar la columna con 80 mL de HCl 9M.
5. Juntar los líquidos de elución y lavado y continuar con el *Procedimiento Am-01:* desde paso 4 de separación de actínidos.
6. Eluir el uranio con 150 mL de HNO_3 8M y reservar esta fracción para la determinación de uranio según el *ProcedimientoU-05: paso 17.*
7. Eluir el Plutonio con 10 mL de HCl 0,2M; y luego con 200 mL de NH_2OH. HCl 0,7%.
8. Llevar el eluido a sequedad y mineralizar con sucesivos agregados de HNO_3 cc y H_2O_2 (100 vol).
9. Electrodepositar el plutonio según *Procedimiento G-01*.
10. Medir por espectrometría alfa, según *Procedimiento Alfa-01*.

CÁLCULOS

Para el cálculo de la concentración de actividad se emplea directamente el factor de la relación entre los contajes del actínido a determinar y el trazador, por la actividad del trazador agregada y el factor gravimétrico. En el caso de suelos y sedimentos se suele expresar en Bq/kg.

$$A_A \left(Bq/kg \right) = \frac{C_A \cdot A_T}{C_T \cdot M}$$

donde

A_A = Actividad del analito.

C_A = Cuentas del analito (Pu 238, Pu 239+240, U, Am 241 o Cm 244, descontando el fondo)

C_T = Cuentas del trazador (descontando el fondo)

A_T = Actividad agregada del trazador (Bq)

M = masa de suelo analizado (kg)

LÍMITE DE DETECCIÓN

El límite de detección se calcula considerando las cuentas del fondo en la zona del espectro correspondiente al radionucleido a determinar.

Para una masa de muestra de 20 g, un detector de eficiencia 0,40 cpm/dpm y un rendimiento químico del 60%, el límite de detección de la técnica es de 10 mBq/kg.

REFERENCIAS

1. A. Yamato, Journal of Radioanalytical Chemistry, Vol. 75, Nos 1-2 (1982) 265.
2. S. Ballestra, R. Fukai, Talanta.Vol 30. No1.(1983) 45-48.
3. N.A. Talvite. Anal. Chem,(1972) 44,280.
4. EML Procedures Manual, HASL - 300, 28th Edition.

11.2. Determinación de plutonio, uranio, americio y curio en aguas (M-02)

ANALITO: Pu, U, Am, Cm **TÉCNICA:** ESPECTROMETRÍA ALFA

MATRIZ: AGUA

APLICACIÓN

Este procedimiento describe un método para la separación, purificación y medición de uranio, plutonio, americio y curio en aguas de distinta procedencia (agua de mar, agua de lago, agua de napa, agua potable, etc.). La muestra se concentra por evaporación, el residuo se mineraliza y se disuelve en un volumen conveniente de HCl 9M. Los radionucleidos se separan a través de resina de intercambio aniónico y posteriormente se purifican con solventes adecuados e intercambio aniónico y catiónico. Finalmente se electrodepositan y se miden por espectrometría alfa.

EQUIPAMIENTO

- Plancha calefactora
- Columnas de vidrio para intercambio iónico. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*

REACTIVOS

- Soluciones calibradas de Am 243, Cm 242, U 232 y Pu 242, como trazadores
- $NH_2OH.HCl$ 0,7% (P/V) en HCl 0,2 M
- Fe^{+3} como portador
- $NaNO_2$ (s)
- Resina de intercambio iónico Bio Rad™ AG 1x8 (100-200 mesh) forma Cl^-

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

1. Tomar 1000 mL de muestra de agua en un vaso de precipitado.
2. Agregar los trazadores en cantidad conveniente.
3. Agregar 100 mL de HNO_3 cc y calentar a reflujo sobre plancha calefactora durante 2 horas.
4. Evaporar la solución hasta casi sequedad.
5. Mineralizar con sucesivos agregados de HNO_3 cc y H_2O_2 (100 vol).
6. Llevar a sequedad y disolver el residuo en 50 mL (como máximo) de HCl 9M. De ser necesario calentar a reflujo sobre plancha calefactora para facilitar la disolución. Enfriar.

7. Tratar la solución con aproximadamente 0,2 g de $NaNO_2$, agitar y dejar reposar 15 minutos, calentar hasta eliminar vapores nitrosos.
8. Dejar enfriar y reservar para la posterior separación por columna.

PROCEDIMIENTO

1. Armar la columna de intercambio iónico empleando la resina Bio- Rad™ AG1 x 8 (100-200 mesh) según Procedimiento G-03.
2. Acondicionar la columna de intercambio aniónico en HCl 9M.
3. Sembrar la solución anterior.
4. Lavar la columna con 80 mL de HCl 9M.
5. Juntar los líquidos de siembra y lavado, y continuar con el Procedimiento Am-01: desde paso 4 de separación de actínidos.
6. Eluir el uranio con 150 mL de HNO_3 8M. Reservar esta fracción para la determinación de uranio según el Procedimiento U-05: paso 17.
7. Eluir el plutonio con 10 mL de HCl 0,2M, y luego con 200 mL de NH_2OH. HCl 0,7%.
8. Llevar el eluido a sequedad y mineralizar con sucesivos agregados de HNO_3 cc y H_2O_2 (100 vol).
9. Electrodepositar el plutonio según Procedimiento G-01.
10. Medir por espectrometría alfa, según Procedimiento Alfa-01.

REFERENCIAS

1. A. Yamato, Journal of Radioanalytical Chemistry, Vol. 75, Nos 1-2 (1982) 265.
2. S. Ballestra, R. Fukai, Talanta.Vol 30. No1.(1983) 45-48.
3. N.A. Talvite. Anal. Chem, (1972) 44, 280.

11.3. Determinación de plutonio, uranio, americio y curio en filtros (M-03)

ANALITO: Pu, U, Am, Cm **TÉCNICA:** ESPECTROMETRÍA ALFA

MATRIZ: FILTRO

APLICACIÓN

Este procedimiento describe un método para la separación, purificación y medición de uranio, plutonio, americio y curio en filtros de fibra de vidrio. El filtro se disuelve con HNO_3 cc y gotas de HF en un vaso de Teflon™ con base grafitada, se mineraliza con H_2O_2 y se lleva a sequedad, luego el residuo se disuelve en HCl 9M. Los radionucleidos se separan a través de resina de intercambio aniónico y posteriormente se purifican con solventes adecuados e intercambio aniónico y catiónico. Finalmente se electrodepositan y se miden por espectrometría alfa.

EQUIPAMIENTO

- Plancha calefactora
- Columnas de vidrio para intercambio iónico. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Agitador magnético con calefacción

REACTIVOS

- Soluciones calibradas de Am243, Cm 242, U 232 y Pu 242, como trazadores
- $NH_2OH.HCl$ 0,7% (P/V) en HCl 0,2 M
- $NaNO_2$ (s), p.a.
- Resina de intercambio iónico Bio Rad™AG 1 x 8 (100-200 mesh) forma Cl^-

PROCEDIMIENTO

A. Preparación de la muestra

1. Disolver el filtro con HNO_3 : HF (1:1) en un vaso de Teflon™ de base grafitada y calentar sobre plancha calefactora. Continuar con pequeños agregados de HF hasta total eliminación del SiF_4.
2. Mineralizar con H_2O_2 y HNO_3 hasta la eliminación total del HF. Llevar hasta casi sequedad.
3. Disolver el residuo con HCl cc y agregar 0,5 g de H_3BO_3.

4. Agregar una cantidad conocida de cada uno de los trazadores. Homogeneizar y dejar en reposo como mínimo 2 horas.
5. Trasvasar a un recipiente plástico previamente pesado y llevar a un peso de aproximadamente 50 g con agua destilada lavando muy bien el vaso de Teflon™.
6. Tratar la solución con aproximadamente 0,2 g de $NaNO_2$, dejar aproximadamente 15 a 20 minutos y calentar hasta eliminación de vapores nitrosos.
7. Dejar enfriar y reservar para la posterior separación.

B. Separación de actínidos

1. Armar la columna de intercambio iónico empleando la resina Bio- Rad™ AG 1 x 8 (100-200 mesh) según *Procedimiento G-03.*
2. Acondicionar la columna en HCl 9M.
3. Sembrar la solución anterior que contiene los actínidos.
4. Lavar la columna con 80 mL de HCl 9M.
5. Juntar los líquidos de siembra y lavado, y continuar con el *Procedimiento Am-01:* desde item 4 de separación de actínidos.
6. Eluir el Uranio con 150 mL de HNO_3 8M , guardar esta fracción para la determinación de uranio según el *Procedimiento U-05.*
7. Eluir el plutonio con 10 mL de HCl 0,2M, y luego con 200 mL de NH_2OH. HCl 0,7%.
8. Juntar ambas soluciones para su posterior tratamiento según el *Procedimiento Pu-01.*

REFERENCIAS

1. A. Yamato, Journal of Radioanalytical Chemistry, Vol. 75, Nos 1-2 (1982) 265.
2. S. Ballestra, R. Fukai, Talanta.Vol 30. No1. (1983) 45-48.
3. N.A. Talvite. Anal. Chem, (1972) 44, 280.

11.4. Determinación de plutonio, uranio, americio y curio en vegetales (M-04)

ANALITO: Pu, Am, U, Cm **TÉCNICA:** ESPECTROMETRÍA ALFA

MATRIZ: VEGETAL

APLICACIÓN

Este procedimiento describe un método para la separación, purificación y medición de uranio, plutonio, americio y curio en vegetales. La muestra seca, molida y homogénea se mufla y luego se trata con mezclas de ácidos para su disgregación. Los radionucleidos se separan a través de resina aniónica y posteriormente se purifican con solventes adecuados e intercambio aniónico y catiónico. Finalmente se electrodepositan y se miden por espectrometría alfa.

EQUIPAMIENTO Y MATERIALES

- Resina de intercambio iónico Bio Rad™ AG 1 x 8 (100-200 mesh) forma Cl^-
- Plancha calefactora
- Mufla con rampa de temperatura
- Columnas de vidrio para intercambio iónico. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*

REACTIVOS

- Soluciones calibradas de Am 243, Cm 242, U 232 y Pu 242
- $NH_2OH.HCl$ 0,7% (P/V) en HCl 0,2 M
- $NaNO_2$ (s)

PROCEDIMIENTO

A. Preparación de la muestra

1. Pesar por duplicado aproximadamente 20 g de muestra seca, molida y homogeneizada, en cápsulas de porcelana.
2. Agregar una cantidad conocida de cada uno de los trazadores en un volumen de agua destilada tal que toda la muestra quede impregnada de esta solución trazadora.
3. Tratar en mufla a 90°C por 24 horas y luego elevar la temperatura en rangos de 100°C cada 3 horas hasta 550°C. Esto permite, en esta primera etapa, eliminar la humedad y materiales volátiles, para finalmente destruir la materia orgánica.

4. Retomar cuidadosamente las cenizas con HNO_3 50%, trasvasándolas cuantitativamente a un recipiente de Teflon™ de base grafitada. Llevar hasta casi sequedad y agregar pequeñas porciones de HF y HNO_3, calentando sobre plancha calefactora.
5. Eliminar el HF con el agregado de pequeñas porciones de HNO_3 (c) y calentando.
6. Mineralizar con HNO_3 cc y H_2O_2.
7. Llevar casi a sequedad y retomar con 20 mL de HCl 9M.
8. Tratar a la solución con aproximadamente 0,2 g de $NaNO_2$, dejar reposar de 15–20 minutos y calentar hasta la eliminación de los vapores nitrosos.
9. Dejar enfriar y reservar para la separación.

B. Separación de los actínidos

1. Armar la columna según *Procedimiento G-03.*
2. Acondicionar la columna de intercambio aniónico Bio- Rad™ AG 1 x 8 (100-200 mesh) en HCl 9M.
3. Sembrar la solución anterior.
4. Lavar la columna con 80 mL de HCl 9M.
5. Juntar los líquidos de siembra y lavado y continuar con el *Procedimiento Am-01.*
6. Pasar a través de la columna 150 mL de HNO_3 8M con lo cual se eluye el Uranio, guardar esta fracción para la determinación de uranio según el *Procedimiento U-07.*
7. Pasar a través de la columna aproximadamente 10 mL de HCl 0,2M, y una vez que pasa esta cantidad agregar a la columna 200 mL de NH_2OH. HCl 0,7%.
8. Juntar ambas soluciones para su posterior tratamiento según el *Procedimiento Pu-03.*

REFERENCIAS

1. A. Yamato, Journal of M-04 Radioanalytical Chemistry, Vol. 75, Nos 1-2 (1982) 265.
2. S. Ballestra, R. Fukai, Talanta. Vol 30. No1. (1983) 45-48.
3. N.A. Talvite. Anal. Chem, (1972) 44, 280.

12.1. Determinación de radio 226 y uranio en aguas (M-05)

ANALITO: RADIO 226, URANIO

TÉCNICA: CENTELLEO LÍQUIDO
FLUORIMETRÍA

MATRIZ: AGUA

APLICACIÓN

Este procedimiento se aplica en muestras de agua profundas y de superficie, agua de ríos, arroyos y lagos.

La determinación de la concentración de Ra 226 se lleva a cabo por coprecipitación con $BaSO_4$, disolución con solución alcalina de EDTA, agregado de solución centelladora de base tolueno y posterior medición del Rn 222 emanado.

La determinación de la concentración de uranio natural se lleva a cabo, en el sobrenadante de la coprecipitación del Ra 226. La técnica consiste en una precipitación del uranio con fosfato ácido de calcio, disolución del precipitado en medio nítrico y medición por fluorimetría, según *Procedimiento U-02.*

EQUIPAMIENTO Y MATERIALES

- Equipo de medición por centelleo líquido Packard Tri-Carb 2550 TR/AB. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Viales de centelleo de vidrio borosilicato de 20 mL con bajo contenido de K 40.
- Fluorímetro para sólidos Jarrell-Ash, Division of Fisher Scientific Co. Model 1- USPAT: 2.710.924.
- Gabinete de acero inoxidable equipado con dos lámparas infrarrojas.
- Horno de fusión especialmente diseñado para fluorimetría. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Centrífuga de pie, con capacidad para recipientes de 250 mL.
- Recipientes de vidrio Pyrex™ de base redonda (denominados mamaderas), de 250 mL, para ser usados en la centrífuga.

REACTIVOS

- Solución centelladora: disolver 5 g de PPO (2,5-Difeniloxazol) y 0,05 g de POPOP (2,2`-p-Fenilen-bis (5-feniloxazol)) en 1 L de tolueno. Tanto el tolueno como los centelladores utilizados son “grado centelleo”.
- Solución calibrada de Ra 226.

- Solución estándar de uranio natural preparada con $UO_2(NO_3)_2.6H_2O$.
- Solución alcalina de EDTA: disolver 26.8 g de $Na_2EDTA.2H_2O$ en 100 mL de agua destilada, agregar NaOH 10 M hasta alcanzar pH 13.

PROCEDIMIENTO

1. Filtrar 800 mL de agua a través de un filtro S&S banda azul de tamaño apropiado.
2. Agitar la muestra a temperatura ambiente, agregar 3 mL de H_2SO_4 cc y 1 mL de $BaCl_2$ 2,1%P/P para coprecipitar el Ra 226.
3. Transferir porciones de la muestra a una botella de centrífuga de 250 mL y centrifugar a 1700 rpm durante 15 minutos cada vez. Repetir las centrifugaciones hasta que todo el precipitado sea separado del sobrenadante.
4. Lavar el precipitado dos veces con 10 mL de agua destilada.
5. Reservar el sobrenadante y los lavados para la posterior determinación de uranio natural según *Procedimiento U-01.*
6. Calentar el precipitado en una plancha calefactora para eliminar toda el agua remanente.
7. Solubilizar el precipitado con 5 mL de solución alcalina de EDTA y continuar según *Procedimiento Ra-01*: desde item 13.

LÍMITE DE DETECCIÓN

Teniendo en cuenta los volúmenes de agua analizados, las técnicas descriptas y sus factores de calibración, los límites de detección alcanzados, para un 95% de confianza, son: 2,2 mBq/L para Ra 226 y 0,2 μg/L para uranio natural.

REFERENCIAS

1. Centanni, F.A., Ross, A.M., DeSesa, M.A. (1956): Fluorometric determination of uranium. Anal. Chem., 28, N°11, 1651-1657.
2. Rushing, D.R., García, W.J., Clarck, D.A. (1964): The analysis of effluents and environmental samples from uranium mills and biological samples for radium, polonium and uranium. Proc. of the Symposium on Radiological Health and Safety in Mining and Milling of Nuclear Materials, Vienna, Vol. II, 187-230.
3. Sill, C.W. (1980): Determination of gross alpha, plutonium, neptunium, and/or uranium by gross counting on barium sulphate. Anal. Chem., 52, N°9, 1452-1459.
4. Fissene, I.M. (1990): Radium-226, emanation procedure. EML Procedure Manual, HASL-300, 4.5-162.
5. Sumerling, T., Darby, S. (1981): Statistical aspects of the interpretation of counting experiments designed to detect low level of radioactivity, NRPB-R113, 46.
6. Bomben, A.M.; Canoba, A.C. (1996): A Simple Method for the Determination of natural Uranium and Ra-226 in water and soils.Journal of Radioanalytical Chemistry-Letters 212(3) 209-219.

12.2. Determinación de radio 226 y uranio en suelos (M-06)

ANALITO: RADIO 226, URANIO

TÉCNICA: CENTELLEO LÍQUIDO
FLUORIMETRÍA

MATRIZ: SUELO

APLICACIÓN

Este procedimiento se aplica a muestras de suelos y sedimentos. El sedimento se disgrega en medio ácido en una bomba Parr.

La determinación de la concentración de Ra 226 se lleva a cabo por coprecipitación con $BaSO_4$, disolución con solución alcalina de EDTA, agregado de solución centelladora de base tolueno y posterior medición del Rn 222 emanado.

La determinación de la concentración de uranio natural se lleva a cabo, en el sobrenadante de la coprecipitación del Ra 226. La técnica consiste en una precipitación del uranio con fosfato ácido de calcio, disolución del precipitado en medio nítrico y medición por fluorimetría, según *Procedimiento U-01.*

EQUIPAMIENTO Y MATERIALES

- Equipo de medición por centelleo líquido Packard Tri-Carb 2550 TR/ AB. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Viales de centelleo de vidrio borosilicato de 20 mL con bajo contenido de K 40
- Fluorímetro para sólidos Jarrell-Ash, Division of Fisher Scientific Co. Model 1- USPAT: 2.710.924
- Gabinete de acero inoxidable equipado con dos lámparas infrarrojas
- Horno de fusión especialmente diseñado para fluorimetría. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Centrífuga de pie, con capacidad para recipientes de 250 mL
- Recipientes de vidrio Pyrex™ de base redonda (denominados mamaderas), de 250 mL, para ser usados en la centrífuga
- Bombas Parr. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*

REACTIVOS

- Solución centelladora: disolver 5 g de PPO (2,5-Difeniloxazol) y 0,05 g de POPOP (2,2`-p-Fenilen-bis (5-feniloxazol)) en 1 L de tolueno. Tanto el tolueno como los centelladores utilizados son “grado centelleo”
- Solución calibrada de Ra 226

- Solución estándar de uranio natural preparada con $UO_2(NO_3)_2.6H_2O$
- Solución alcalina de EDTA: disolver 26.8 g de $Na_2EDTA.2H_2O$ en 100 mL de agua destilada, agregar NaOH 10 M hasta alcanzar pH 13

PROCEDIMIENTO

1. Pesar 200 mg de suelo seco y homogeneizado y colocarlo dentro de una bomba Parr de Teflon™.
2. Agregar una mezcla de 6 mL de HF cc, 4 mL de HNO_3 cc y 1 mL de $HClO_4$ cc.
3. Calentar a 140ºC en estufa durante 4 horas.
4. Enfriar y llevar a 20 mL con agua destilada.
5. Tomar una alícuota para la determinación de uranio por fluorimetría según *Procedimiento U-01.*
6. El remanente de la solución se transfiere a un vaso de precipitado con varios lavados de agua destilada y se completa el volumen a 800 mL.
7. Agitar la muestra a temperatura ambiente, agregar 3 mL de H_2SO_4 cc y 1 mL de $BaCl_2$ 2,1%P/P para coprecipitar el Ra 226 y continuar según *Procedimiento Ra-01*.

LÍMITE DE DETECCIÓN

Los límites de detección alcanzados, para un 95% de confianza, son: 1 μg U/g de suelo y 9,4 mBq Ra/g de suelo.

REFERENCIAS

1. Centanni F.A., Ross A.M., DeSesa M.A. (1956): Fluorometric determination of uranium. Anal. Chem., 28, N°11, 1651-1657.
2. Rushing D.R., García W.J., Clarck D.A. (1964): The analysis of effluents and environmental samples from uranium mills and biological samples for radium, polonium and uranium. Proc. of the Symposium on Radiological Health and Safety in Mining and Milling of Nuclear Materials, Vienna ,Vol. II, 187-230.
3. Sill C.W. (1980): Determination of gross alpha , plutonium, neptunium, and/or uranium by gross counting on barium sulphate. Anal. Chem., 52, N°9, 1452-1459.
4. Fissene I.M. (1990): Radium-226, emanation procedure. EML Procedure Manual, HASL-300, 4.5-162.
5. Sumerling T., Darby S. (1981): Statistical aspects of the interpretation of counting experiments designed to detect low level of radioactivity, NRPB-R113, 46.
6. Bomben A.M., Canoba A.C. (1996): A Simple Method for the Determination of natural Uranium and Ra-226 in water and soils.Journal of Radioanalytical Chemistry-Letters 212(3) 209-219.

13.1. Determinación de C 14 y H 3 en efluentes gaseosos (M-07)

ANALITO: C 14 Y H 3 **TÉCNICA:** CENTELLEO LÍQUIDO

MATRIZ: EFLUENTES GASEOSOS

APLICACIÓN

El presente procedimiento se aplica al monitoreo de efluentes gaseosos provenientes de chimeneas de centrales nucleares.

Se conecta el muestreador a las tomas de muestra de chimenea dejando que el equipo comience a extraer el efluente conteniendo el HT, HTO, CH_4, CO y CO_2.

En los dos primeros tubos se recoge el agua tritiada y en los dos siguientes el C 14 como CO_2.

El efluente continúa a través de un horno catalítico que oxida las formas química de HT, CH_4 y CO obteniéndose nuevamente HTO y CO_2 que son retenidos en otro arreglo de tubos igual al anterior (dos para tritio y dos para CO_2).

Al terminar el muestreo se mide el volumen total de cada tubo, luego se mide 0,5 mL del contenido de los tubos de tritio, y se mezcla con 10 mL de Instagel – Plus como paso previo a su medición por centelleo líquido.

El contenido de los tubos utilizado para retener CO_2 es trasvasado a sendos vasos de precipitado de 250 mL lavando con agua destilada.

EQUIPAMIENTO

- Muestreador portátil de H 3 y C 14 marca O´VERHOFF (modificado). Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Equipo de Centelleo Líquido Packard Tri-Carb 2550 LL / AB. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*

REACTIVOS

- Solución de NaOH 2 M
- Solución de NH_4Cl 2 M
- Solución de $BaCl_2$ 1 M
- Cab-O-Sil
- Solución Centelladora preparada con 0,05g de POPOP, 5 g de PPO llevada a un litro con tolueno grado centelleo
- Solución carrier de Na_2CO_3 1 M

MUESTREO

1. Conectar el equipo en las tomas de chimenea correspondientes.

2. Colocar en los tubos 1, 2, 5 y 6, 40 mL de agua destilada. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
3. Colocar en los tubos 3, 4, 7 y 8, 40 mL de NaOH 2 M.
4. Conectar los tubos en el equipo según esquema.
5. Resetear el totalizador volumétrico.
6. Encender el equipo y apretar el botón de calentamiento. La temperatura está prefijada al igual que el caudal de muestreo. Cuando se alcanza la temperatura prefijada la bomba comienza a extraer la muestra de la chimenea.
7. Dejar operar durante 4 o 5 días a 100 mL/min. Si es necesario un período de muestreo mayor (por ejemplo, 7 días), ajustar el caudal a 50 mL/min.

PROCEDIMIENTO

1. Medir el volumen de todos los tubos.
2. De los tubos 1, 2, 5 y 6, tomar una alícuota de 0,5 mL en vial de vidrio y mezclarla con 10 mL de solución centelladora Instagel – Plus.
3. Medir por centelleo líquido convencional según protocolo ya establecido durante 10 minutos.
4. Transferir el contenido de los tubos 3, 4, 7 y 8 respectivamente a cuatro vasos de precipitado de 250 mL.
5. Agregar 40 mL de solución de NH_4Cl 1 M y 1 mL de solución carrier de $Na_2CO_3$1M.
6. Agregar lentamente agitando, con varilla de vidrio, 50 mL de solución de $BaCl_2$ 1M.
7. Dejar decantar aproximadamente 1 hora.
8. Tarar un filtro Goosh de porosidad 3 ó 4.
9. Filtrar el precipitado, lavando con agua destilada y descartar el sobrenadante y los líquidos de lavado.
10. Secar en estufa a 110°C durante 1 hora.
11. Pesar el filtro Goosh nuevamente y calcular la masa del precipitado.
12. Pesar una alícuota de aproximadamente 2 g en vial de vidrio.
13. Agregar 0,800 g de Cab-O-Sil y mezclar por agitación.
14. Agregar 18 – 20 mL de centellador preparado a base de tolueno.
15. Medir en equipo de centelleo líquido de acuerdo al protocolo preestablecido.

CÁLCULOS

Tritio

$$C_A = \frac{Act_m \times V_T}{E_R \times 60 \times V_{ALI} \times V_A}$$

donde

C_A = Concentración de tritio en aire como HTO (Bq/m^3)

Act_m = Actividad de la muestra en el tubo 1 (dpm)

V_T = Volumen total en el tubo (mL)

E_R = Eficiencia de retención

V_{ALI} = Volumen de alícuota en vial (mL)

V_A = Volumen de aire muestreado (m^3)

$$E_R = \frac{(dpm_1 - dpm_2)}{dpm_1} \times 100$$

donde

dpm_1 = Actividad de tritio en el tubo 1

dpm_2 = Actividad de tritio en el tubo 2

Para el cálculo de tritio como HT gaseoso, valen las mismas expresiones pero se usan los datos de los tubos 5 y 6. Si E_R es menor del 80% aplicar el siguiente cálculo:

$$E_R = \frac{(dpm_1 - dpm_2)}{(dpm_1 + dpm_2)} \times 100$$

Carbono 14

$$C_A = \frac{Act \times M_T}{E_R \times 60 \times M_P \times V_A}$$

donde

C_A = Concentración en aire de CO_2 (Bq / m^3)

Act = Actividad del tubo 3 (dpm)

M_T = Masa total en el filtro de $BaCO_3$ (g)

E_R = Eficiencia de retención

M_P = Masa pesada de $BaCO_3$ (g)

V_A = Volumen de aire muestreado (m^3)

$$E_R = \frac{(dpm_3 - dpm_4)}{dpm_3} \times 100$$

donde

dpm_3 = Actividad de C 14 en el tubo 3

dpm_4 = Actividad de C 14 en el tubo 4

$$E_R = \frac{(dpm_3 - dpm_4)}{(dpm_3 + dpm_4)}$$

Para el cálculo de CH_4 y CO valen las mismas ecuaciones pero se usan los datos de los tubos 7 y 8.

REFERENCIAS

1. Tritium Measurements Techniques, NCRP Report N 47, May 28, 1976
2. Safe Handling of Tritium. OIEA, T.R.S. 324, Ej. 4
3. Investigations into the emission of Carbon-14 compounds from Nuclear Facilities. J. Schwibach, H. Riedel und J. Bretschneider, November 1978
4. ^{14}C Emission from Nuclear Reactors and Techniques for its Measurements. A Review. Bulletin of Radiation, Vol. 15, N° 2, April-June, 1992
5. Physico-Chemical forms of ^{14}C in Reactor Effluents. T.M. Krishnamorthy, G.R. Doshi, S.H. Sadarangani & S.D. Soman. Health Physics Division, Bhabha Atomic Research Centre, Trombay, Bombay 400 085, India

14.1. Determinación de actínidos, Sr 90, H 3 y Ni 63 en muestras líquidas (M-08)

ANALITO: ACTÍNIDOS, Sr 90, H 3 y Ni 63 **TÉCNICA:** CENTELLEO LÍQUIDO

MATRIZ: LÍQUIDOS

APLICACIÓN

Esta técnica se aplica a muestras líquidas provenientes de descargas periódicas de centrales nucleares al medio ambiente, muestras de residuos radiactivos de tanques existentes en centrales nucleares y muestras líquidas en general conteniendo emisores alfa, beta y gamma en niveles de actividad bajos y medios.

REACTIVOS

- Solución de HNO_3 3M / Al $(NO_3)_3$ 1M
- Solución de HNO_3 2,5M
- Solución de HNO_3 0,02M / HF 0,02M
- Solución de HNO_3 0,1M
- Solución de HNO_3 0,05M
- Solución de HNO_3 0,01M
- Solución de HCl 9M
- Solución de HCl 6M
- Solución de HCl 4M
- Solución de bioxalato de amonio 0,1M
- Solución de $(NH_4)_2CO_3$ 1M
- Solución de ácido sulfámico 1,0M
- Solución de sulfato ferroso amónico 1,0M
- Acido ascórbico p.a.
- Solución al 10% en alcohol etílico de dimetilglioxima.
- Solución de fenolftaleína.
- Solución de Na(OH) 6M
- Acido nítrico concentrado p.a.
- Hidróxido de amonio concentrado p.a.
- Solución de Y^{+3}, 30 mg/ml
- Solución de Ba^{+2}, 10 mg/ml

- Solución de Sr^{+2} , 5 mg/ml
- Solución de Ni^{+2} , 2 mg/ml
- Solución calibrada de Pu 242, como trazador
- Solución calibrada de Am 243, como trazador
- Solución calibrada de U 232, como trazador

MATERIALES

- Filtros Goosh de 15 mL (aproximadamente), porosidad 3 ó 4, con esmeril
- Frascos kitasato con boca esmerilada para Goosh de 15 mL
- Columnas cromatográficas Eichrom™ (TEVA, U-TEVA, TRU-SPEC, Sr Spec)

PROCEDIMIENTO

1. Tomar una alícuota de 0,1 a 0,5 mL de muestra en vial de vidrio para centelleo líquido.
2. Agregar entre 0,9 y 0,5 mL de agua destilada (volumen final 1 mL).
3. Agregar 10 mL de Instagel plus.
4. Medir por centelleo líquido. Ver *CL-01.*
5. Medir un volumen entre 50 y 100 mL.
6. Agregar l mL de cada una de las soluciones carrier (Y, Sr, Ba y Ni).
7. Agregar 2 dpm de cada uno de los siguientes trazadores: Pu 242, Am 243 y U 232.
8. Agregar entre 5 mL y 10 mL de HCl concentrado (concentración final aproximadamente 1,1 M).
9. Agregar lentamente y agitando con varilla de vidrio, hidróxido de amonio concentrado hasta pH 9-10.
10. Trasvasar a tubo para centrífuga de 250 mL lavando con agua destilada.
11. Centrifugar a 2000 rpm durante 25 minutos.
12. Separar el sobrenadante y reservar para el análisis de Sr 90 y Ni 63.
13. Disolver el precipitado en 5 ó 6 mL de HNO_3 3M.
14. Trasvasar a un vaso de 250 mL y evaporar a sequedad.
15. Agregar 8 mL de solución de HNO_3 3,2M / $Al(NO_3)$ 1M.
16. Agregar 1mL de solución de ácido sulfámico 1M.
17. Agregar 1mL de solución de sulfato ferroso amónico 1M.
18. Agregar 200 mg de ácido ascórbico (en polvo). Disolver y esperar 5 a 10 minutos (solución de carga).

SEPARACIÓN DE ACTÍNIDOS

1. Preparar un arreglo de tres columnas cromatográficas en tandem (TEVA/U-TEVA/TRU-SPEC respectivamente).

2. Preacondicionar el sistema de columnas haciendo pasar 5 mL de HNO_3 3,2M.
3. Sembrar la solución de carga.
4. Lavar con 20 mL de solución de HNO_3 2,5M / $Fe(NH_4)2(SO_4)2$ 0,05M / sulfámico 0,05M.
5. Lavar con 5 mL de HNO_3 2,5M.
6. Separar la columna TEVA del tandem.
7. Agregar 20 mL de HCl 9M y recoger en vaso de precipitado. Rotular como Th.
8. Agregar 5 mL de HCl 6M y recoger en el mismo vaso.
9. Agregar 10 mL de solución HNO_3 0,02M / HF 0,02M y recoger en vaso de precipitado. Rotular como Np.
10. Acondicionar la muestra para electrodeposición según Procedimiento G-02.
11. Medir por espectrometría alfa según Alfa-01.
12. Agregar sobre el resto del tandem (U-TEVA,TRU-SPEC), 10ml de solución de HNO_3 2,5M + sulfato ferroso amónico 0,05M + sulfámico 0,05M + 100 mg de ascórbico.
13. Separar la columna del tandem.
14. Agregar 5 mL de solución de HNO_3 2,5M + oxálico 0,05M y descartar el líquido de lavado.
15. Eluir la fracción de uranio agregando 10 mL de HNO_3 0,01M Preacondicionar la muestra para electrodeposición.
16. Agregar sobre la última columna 5 mL 2,5M en HNO_3 + 0,1M en $NaNO_2$.
17. Agregar 5 mL de HNO_3 0,5M.
18. Poner un vaso de precipitados bajo la columna y rotular como Am.
19. Agregar 3 mL de HCl 9M y recoger el eluido.
20. Agregar 20 mL de HCl 4M y recoger el eluido en el mismo frasco.
21. Preacondicionar la muestra para electrodeposición.
22. Poner otro vaso de precipitados bajo la columna y rotularlo como Pu.
23. Agregar 10 ml de bioxalato de amonio 0,01M y recoger el eluido.
24. Preacondicionar la muestra para electrodeposición, según Procedimiento G-01.
25. Medir por espectrometría alfa según *Alfa-01.*

SEPARACIÓN DE Sr 90 Y Ni 63

1. Ajustar a 8-9, el pH del sobrenadante obtenido en el *paso 12 de Procedimiento.*
2. Agregar 1 mL de solución alcohólica de dimetilglioxima al 10%, agitando con varilla de vidrio.
3. Dejar decantar el precipitado y filtrar por Goosh (esmerilado) de porosidad 3-4 recogiendo el sobrenadante en frasco kitasato de 500 mL con boca de esmeril adaptada a los filtros Goosh. Lavar el precipitado con agua destilada recogiendo los lavados en el mismo kitasato.
4. Separar el filtro Goosh y disolver el precipitado con 2 mL HNO_3 (c) recogiéndolo en vial de vidrio (ayudar el filtrado con vacío). Lavar con 3 mL de agua destilada.
5. Evaporar el contenido del vial suavemente sobre plancha calefactora durante toda la noche.
6. Disolver el contenido del vial en 1 mL de HCl 0,5M y agregar 15 mL de centellador Ultima Gold –XR, agitar dejar en oscuridad media hora.

7. Medir por centelleo líquido, ver *CL-01.*
8. Trasvasar el sobrenadante remanente en el kitasato (fracción Sr) a un vaso de 500 mL.
9. Lavar con agua destilada.
10. Agregar 2-3 gotas de solución de fenolftaleína.
11. Agregar gotas de HCl (c) hasta viraje del indicador.
12. Agregar Na(OH) 6M hasta rosa pálido.
13. Calentar a ebullición sobre plancha calefactora agregando mas hidróxido a medida que el color desaparece, hasta que no haya más liberación de amoníaco (color rosa fuerte).
14. Retirar el vaso de la plancha y agregar 25 mL de Na_2CO_3 1M lentamente y agitando con varilla de vidrio.
15. Cubrir el vaso con un vidrio de reloj y dejar a temperatura cercana a ebullición durante media hora más. Apagar la plancha y dejar en digestión mínimo 4 horas (se recomienda toda la noche).
16. Filtrar el precipitado usando los mismos filtros Goosh que antes, descartando el sobrenadante y los líquidos de lavado.
17. Disolver el precipitado en 10 mL de HNO_3 8M.
18. Preparar una columna cromatográfica Eichrom Sr-Spec.
19. Preacondicionar la columna con 5 mL de HNO_3 8M.
20. Sembrar la solución obtenida en 17.
21. Lavar con 5 mL de HNO_3 8M.
22. Lavar con 5 mL de solución de HNO_3 3M / oxálico 0,05M. Tomar tiempo inicial de la separación.
23. Eluir el Sr con 10 mL de solución de HNO_3 0,05M.
24. Evaporar a sequedad.
25. Retomar en 1 mL de HCl 0,5M.
26. Agregar 15 mL de centellador Ultima Gold y medir por centelleo líquido, ver *CL-01*.

CÁLCULOS

Espectrometría alfa

$$A = \frac{Ca \,.\, At \,.\, 1000}{Ct \,.\, Va}$$

donde

Ca = cuentas netas del analito

At = actividad del trazador (Bq)

Ct = cuentas netas del trazador

Va = alícuota de muestra tomada (L)

A = actividad de la muestra (Bq/L)

Centelleo Líquido

1. Tritio

$$A = \frac{Aa \cdot 1000}{Va \cdot 60}$$

donde

A = actividad de la muestra (Bq/L)

Aa = actividad de la alícuota en el vial (dpm)

Va = volumen de la alícuota en el vial

2. ^{63}Ni

$$A = \frac{Aa \cdot 1000}{Vm \cdot 60}$$

donde

A = actividad de la muestra (Bq / L)

Aa = actividad de la alícuota en el vial (dpm)

Vm = volumen de la alícuota de muestra

3. ^{90}Sr

$$A = \frac{Aa \cdot 1000}{Vm \cdot 60}$$

donde

A = actividad de la muestra (Bq/L)

Aa = actividad de la alícuota en el vial (dpm)

Vm = volumen de la alícuota de muestra

15.1. Electrodeposición de actínidos (G-01)

APLICACIÓN

Se describe un procedimiento para la preparación de fuentes de actínidos para ser medidas por espectrometría alfa. Se aplica a cualquier actínido que pueda ser disuelto en una solución diluida de sulfato de amonio. Ejemplos de esas fracciones separadas de actínidos pueden ser la elución final de una separación por resina de intercambio iónico, o el paso final de una separación por extracción con solventes.

Las fuentes para ser medidas por espectrometría alfa deben ser homogéneas y muy finas (nunca superiores a 3 μm de espesor y no más de 10 a 20 μg de depósito), para evitar la degradación de energía por autoabsorción. La autoabsorción es proporcional al espesor de las fuentes e inversamente proporcional a la actividad específica. Para fuentes libres de carrier la autoabsorción es generalmente despreciable. Cuando se estima el espesor de una fuente con carrier, todos los radionucleidos depositados deben ser considerados, esto se aplica tanto para los isótopos del elemento en cuestión como para la deposición simultánea de otros elementos durante la preparación de la fuente. Pueden existir problemas con fuentes de alta actividad, ya que la autoabsorción es proporcional al total de la actividad de la fuente.

Una separación incompleta de elementos de tierras raras o una calcinación incompleta de la materia orgánica, disminuirán la eficiencia de la electrodeposición, pudiendo resultar en depósito grueso inadecuado para espectrometría alfa.

Cualquier elemento presente en la solución que sea capaz de electrodepositarse, estará presente en el disco.

EQUIPAMIENTO

- Fuente de tensión regulable a corriente constante con cuatro salidas
- Celdas para electrodeposición de actínidos. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*
- Ánodos de platino
- Discos de acero inoxidable de 2 cm de diámetro con una de sus caras pulida

REACTIVOS

- Indicador Azul de Timol, solución 0,04% - disolver 0,1 g de la sal en 21 mL de NaOH 0,01M y agregar 230 mL de agua destilada
- Ácido oxálico 0,5M: disolver 6,3 g de ácido oxálico dihidrato p.a. y llevar a 100 mL con agua destilada

ELECTRODEPOSICIÓN

1. Evaporar en presencia de HNO_3 la solución conteniendo los actínidos.
2. Disolver el residuo en 0,5 mL de H_2SO_4 cc y calentar. Agregar gotas de H_2O_2 100 volúmenes p.a. para eliminar nitratos y calentar hasta humos blancos y dejar enfriar. Agregar 4 mL de H_2O destilada.
3. Agregar 0,1 mL de ácido oxálico 0,5M para complejar el Fe^{3+}, eventualmente presente, y 1 gota del indicador azul de Timol. Llevar a pH 2,5 con NH_4OH, es decir, hasta el viraje del indicador del rosa al amarillo.
4. Transferir la solución a la celda de electrodeposición. Enjuagar 2 veces el vaso de precipitado con 2 mL de H_2O destilada y transferir a la celda.
5. Ajustar el flujo de corriente a 1,2 A. Electrodepositar durante 2 horas. **Nota:** Regular el volumen con agregado de más cantidad de H_2O destilada.
6. Después de 2 horas agregar 1 mL de NH_4OH a la celda para neutralizar y evitar la disolución del depósito en medio ácido.
7. Desarmar la celda y enjuagar con abundante H_2O destilada. Retirar el disco de acero inoxidable y continuar enjuagando. **Nota:** La manipulación del disco debe hacerse con pinzas para evitar cualquier contacto con grasa.
8. Colocar el disco en un vidrio de reloj y dejarlo debajo de una lámpara infrarroja hasta que llegue a sequedad.
9. La muestra se encuentra en condiciones para ser medida por espectrometría alfa.

REFERENCIAS

Talvitie, N.A. “Electrodeposition of Actinides for Alpha Spectrometric Determination” Anal. Chem., 44, 280-283 (1972)

15.2. Utilización de trazadores radioquímicos (G-02)

APLICACIÓN

Al comenzar una determinación radioquímica es necesario procesar simultáneamente con la muestra un blanco y un patrón para estimar los rendimientos químicos. Pero dado que muchas determinaciones emplean diversas técnicas, los rendimientos resultan ser muy variables entre "blanco", "muestra" y "patrón", y por lo tanto el resultado final no es confiable. En estos casos, de ser posible, es aconsejable el empleo de *trazadores*.

Desde el punto de vista radioquímico, *trazador* es todo radionucleido que se comporta química y físicamente como el analito, y que al ser medido permite calcular el rendimiento químico. Según esta definición, el mejor trazador de un radionucleido es un isótopo radiactivo del mismo, que tenga un semiperíodo suficientemente largo como para permitir su aplicación, y que pueda ser medido independientemente del analito.

Analito es todo elemento o sustancia a ser determinada en un análisis químico. Aplicando esta definición al análisis radioquímico, llamamos analito también al radionucleido a ser determinado en un proceso radioquímico.

El trazador debe ser agregado a la muestra antes de cualquier manipulación de la misma. En general, la cantidad a agregar es del mismo orden que la cantidad de analito presente, pero dependerá del método de medición de ambos. Como usualmente se desconoce el orden en que se encuentra el analito, éste se estima analizando una alícuota de la muestra antes del análisis radioquímico de la misma con el agregado del trazador. El resultado del análisis previo sólo servirá para estimar la cantidad de trazador.

El empleo de trazadores permite no procesar un blanco y un patrón por cada muestra analizada, con la ventaja adicional que permite calcular el rendimiento de todo el proceso en forma exacta, conociendo la eficiencia de medición. Otra ventaja es que se facilitan los cálculos pues no es indispensable conocer ni el rendimiento ni la eficiencia de medición para calcular la actividad de un determinado radionucleido en una muestra cuando ambos son medidos simultáneamente por el mismo método.

15.3. Utilización de resinas de intercambio iónico (G-03)

MATERIALES

- Resinas de intercambio iónico
- Columnas de intercambio iónico. Ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento*

PREPARACIÓN DE COLUMNAS

1. Llenar la columna con agua para verificar la ausencia de pérdidas en la unión entre el capilar de polipropileno y el vástago de vidrio de la columna.

2. Colocar lana de vidrio en el extremo inferior del vástago.

3. En un vaso de precipitado colocar resina en cantidad suficiente para el relleno de la columna a utilizar.

4. Agregar agua, agitar y dejar reposar 15 minutos aproximadamente. Descartar el agua y repetir esta operación. Dejar reposar hasta la eliminación total de las burbujas.

5. Agitar suavemente y verter en la columna.

6. Dejar drenar a través del capilar, evitando que la resina se seque. Siempre debe estar sumergida, de lo contrario se formaran burbujas de aire difíciles de eliminar.

7. Continuar agregando agua con la resina en suspensión hasta que el vástago esté casi lleno de resina.

8. Sin dejar secar la columna, y manteniendo el nivel de agua 1 ó 2 cm por encima del nivel de resina, colocar lana de vidrio en el extremo superior del vástago, evitando la formación de burbujas.

9. El nivel de líquido en la columna se mantiene afirmando el capilar curvo de vidrio en la parte superior de la columna, ver *Capítulo 4. Especificaciones del equipamiento.*

10. En cualquier caso la velocidad de goteo se regula variando la altura del capilar.

11. Preacondicionar la columna de resina de intercambio iónico con sucesivos agregados de 40 mL de la solución correspondiente de acuerdo a los radionucleidos que se deseen determinar.

12. Cuando se trata de resinas aniónicas en la forma Cl^-, al preacondicionar la columna con HNO_3, es necesario asegurar la eliminación total del ión Cl^- mediante el ensayo con el ión Ag^+, y así la columna queda lista para su empleo.

13. No es aconsejable la recuperación de la resina, pues el empleo de ácidos relativamente concentrados por un tiempo prolongado alteran la estructura del polímero, disminuyendo la capacidad de retención y en consecuencia el rendimiento de separación.

15.4. Limpieza del material (G-04)

A. MATERIAL DE VIDRIO

Todo material de vidrio a ser empleado en los procesos radioquímicos debe estar perfectamente limpio y descontaminado. Para ello se emplea el siguiente procedimiento:

1. Sumergir el material en detergente EXTRAN™ neutro (diluido), durante un día.
2. Remover el material grueso y la materia orgánica adherida mediante escobillas de laboratorio.
3. Enjuagar con abundante agua. **Nota 1***:* No deben quedar restos de materia orgánica pues ésta puede contener elementos que posteriormente interferirían en los análisis. **Nota 2:** De ser necesario emplear la solución sulfocrómica para la eliminación final de materia orgánica.
4. Sumergir el material desengrasado en HNO_3 10% ó 20% durante un día, y de ser posible calentar, para la remoción de iones actínidos que pudieran adsorberse o absorberse en las paredes internas del vidrio.
5. Enjuagar con abundante agua y hacer un último enjuague con agua destilada. Dejar secar al aire.

Es conveniente, siempre que se pueda, mantener separados los materiales que se emplean con altas, medias y bajas concentraciones de actínidos, para evitar cualquier contaminación cruzada. Lo mismo ocurre con los materiales empleados para análisis de muestras que contienen materia orgánica como en el caso de orina donde es aconsejable no emplearlos para análisis de matrices inorgánicas.

B. MATERIAL DE TEFLON™

En el caso del material de Teflon™ o de polipropileno el riesgo de contaminación a través de las paredes es mucho menor. En estos casos se procede de la misma forma que para el material de vidrio pero el tiempo en que es sumergido en HNO_3 10% (en frío) es de pocas horas.

El material empleado para la preparación de soluciones nunca debe mezclarse con el empleado con actínidos, tampoco debe sumergirse para su limpieza en la misma solución de EXTRAN™ o de HNO_3 10 ó 20% que fue empleada para el material con actínidos. (*Nota 3*: Es aconsejable que una vez preparada la solución el material sea enjuagado inmediatamente con abundante agua y por último con agua destilada).

C. CAZOLETAS DE PLATINO

1. Se lavan 3 veces, durante 2-3 horas con agua destilada en ebullición para disolver las pastillas de NaF. Después de un lavado cuidadoso para eliminar totalmente el fluoruro, se hierve nuevamente con HNO_3 diluido 20%, durante 5 horas y se deja enfriar hasta el día siguiente. Se repite el lavado con nítrico y se enjuagan muy bien con agua.
2. Se realiza un posterior lavado con HCl diluido p.a. 10 ó 20% durante 5 horas. Se enjuagan muy bien con agua.
3. El último lavado se realiza con agua destilada y H_3BO_3 (s).
4. Las cazoletas se enjuagan luego con agua destilada y se secan bajo lámpara infrarroja.
5. Si hubiera quedado contaminación, se funden con bicarbonato de sodio y se repiten los lavados anteriores hasta la desaparición de la misma.

Es conveniente la separación de cazoletas en función de la cantidad de U en la muestra. De esta manera se tienen identificadas las cazoletas para muestras de alto, medio y bajo contenido de U, minimizando así la posibilidad de contaminaciones.

1. ESPECTOMETRÍA ALFA (ALFA-01)

APLICACIÓN

Se describe un procedimiento para la identificación y medición de radionucleidos emisores alfa. Los requerimientos y características de los instrumentos de medición están descriptos en *Alfa-01a*. El proceso de calibración en energías del sistema de espectrometría alfa está descripto en *Alfa-01b.*

Todos los espectros de las muestras medidas se archivan, y los cálculos se realizan sobre cada uno de ellos manualmente. El análisis de la superposición de picos se efectúa también manualmente con la ayuda de un software desarrollado en la Autoridad Regulatoria Nuclear que brinda diversas herramientas de abordaje de acuerdo con las características de cada espectro.

EQUIPAMIENTO

- Sistema de espectrometría alfa, descripto en *Alfa-01a*
- Fuente alfa de actividad conocida (“patrón alfa”), obtenida por electrodeposición según *Procedimiento G-01*

IDENTIFICACIÓN DE RADIONUCLEIDOS EMISORES ALFA

1. Calibrar en energías el sistema de espectrometría alfa y medir el fondo, según el *Procedimiento Alfa-01b*, con la geometría que se empleará en las mediciones.

2. Colocar la fuente de radionucleidos emisores alfa desconocidos, preparada según *Procedimiento G-01,* en la cámara alfa.

3. Repetir los pasos detallados en *Alfa-01b* midiendo durante el tiempo necesario para colectar suficiente número de cuentas, de manera tal que sea posible la identificación de picos en el espectro.

4. Archivar el espectro obtenido de la fuente alfa desconocida.

5. Descontar el espectro de fondo, empleando el software asociado.

6. Identificar los picos del espectro en función de la energía, empleando una tabla de radionucleidos alfa, o bien mediante la base de datos incorporada al software.

7. Si para un mismo pico corresponden 2 o más radionucleidos, que no sean isótopos entre sí, se aplica la separación química de dichos elementos según los procedimientos radioquímicos correspondientes, descriptos en el presente manual.

EFICIENCIA DEL DETECTOR

1. Colocar la fuente alfa de actividad conocida “patrón alfa” en la cámara, con la geometría empleada para la medición de fondo.
2. Repetir los pasos detallados en *Alfa-01b* midiendo durante el tiempo necesario para colectar suficiente número de cuentas.
3. Archivar el espectro obtenido.
4. Descontar el espectro de fondo.
5. Empleando el software asociado al sistema de espectrometría alfa, determinar las cuentas por segundo del espectro.
6. Determinar la eficiencia del detector empleando la siguiente expresión:

$$Ef\left(cps/Bq\right)=\frac{c_P}{t\cdot A_P}$$

donde

C_P = cuentas correspondientes al espectro patrón emisor alfa

t = tiempo de medición (segundos)

A_P = actividad del radionucleido patrón (Bq)

MEDICIÓN DE LA ACTIVIDAD DE UN RADIONUCLEIDO EMISOR ALFA

1. Colocar la fuente del radionucleido emisor alfa de actividad desconocida (obtenida por electrodeposición según *Procedimiento G-01*) en la cámara, con la geometría empleada para la medición de fondo y eficiencia.
2. Repetir los pasos detallados en Alfa-01b, para la medición.
3. Calcular la actividad del radionucleido empleando la siguiente expresión:

$$A\left(Bq\right)=\frac{C}{t\cdot Ef}$$

donde

C = cuentas del radionucleido emisor alfa cuya actividad se quiere determinar

t = tiempo de medición (segundos)

Ef = eficiencia del detector (cps/Bq)

1.1. Espectrometría alfa - instrumentación (Alfa- 01a)

APLICACIÓN

Se describen los requerimientos, características y puesta a punto de los instrumentos de medición del sistema de espectrometría alfa.

EQUIPAMIENTO

Se detallan a continuación los sistemas disponibles:

1. Cámaras de vacío individuales Canberra, con detectores de ión implantado, preamplificador y amplificador de la misma marca. El conjunto envía los datos a un módulo conversor analógico digital Ortec, el cual está conectado a una computadora. El manejo del sistema se hace a través del software Maestro II para Windows, que permite el análisis de los datos, el almacenamiento de la información y la implementación de programas de trabajo.

2. Sistema para espectrometría alfa marca Canberra, compuesto por 4 cámaras de vacío de una sola puerta con detectores de ión implantado, preamplificadores y amplificador de la misma marca. El sistema es controlado por una computadora a través del software Maestro II para Windows.

3. Dos sistemas integrados para espectrometría alfa marca Ortec modelo Octete, compuesto por 8 cámaras de vacío cada uno, y detectores de ión implantado de la misma marca. El sistema es controlado por una computadora a través del software Maestro II para Windows.

4. Un equipo integrado para espectrometría alfa marca Canberra modelo Alpha Analyst, compuesto por 8 cámaras de vacío y basado en detectores de ión implantado. El sistema incluye un sistema de control de vacío y una diferencia de potencial aplicada sobre el detector, lo que permite controlar el impacto de los núcleos en retroceso. El manejo del sistema se hace a través del software Genie 2000 para Windows, que permite el análisis de los datos, el almacenamiento de la información y la implementación de programas de trabajo.

Todos los detectores son del tipo ión implantado y de varios tamaños (desde 300 hasta 1200 mm^2).

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Los *detectores* para espectrometría alfa, generalmente del tipo *ión implantado*, son cristales de Si (IV) de ultrapureza que han sido impurificados en su cara anterior y posterior con elementos tri y pentavalentes. Esto genera un campo eléctrico y una pequeña zona de "*depletion"*, o sea de muy baja densidad de cargas, la cual es amplificada por la aplicación de una tensión invertida. Esta zona constituye el volumen activo del detector. Las partículas alfa frenadas en la región de "depletion", forman pares electrón-agujero, los cuales son colectados por efecto del campo eléctrico hacia terminales opuestos. El número de pares colectados es proporcional a la energía de la partícula. Los pulsos obtenidos a la salida del detector son convenientemente

amplificados y procesados por medio de una cadena electrónica compuesta por preamplificador, amplificador, conversor analógico digital, PC y software.

Dado que las emisiones alfa son partículas pesadas que pierden rápidamente su energía al interactuar con al materia, la ventana del detector debe ser extremadamente delgada, las fuentes a medir deben ser planas y la capa depositada debe tener un espesor mínimo. Para evitar la atenuación de la energía que se produciría en su interacción con el aire, las mediciones se llevan a cabo dentro de cámaras de vacío. A pesar de estas precauciones, los picos obtenidos son asimétricos ya que la energía de la partícula tiende a degradarse fácilmente, lo que produce una cola característica hacia la región de menores energías.

Con el propósito de realizar una correcta identificación y cuantificación de los radionucleidos emisores alfa, es necesario calibrar el sistema. Este proceso requiere fuentes estándar de la misma geometría que la usada habitualmente en la evaluación de las muestras, compuestas por una mezcla de por lo menos dos radionucleidos.

Para la *calibración en energía* se registra el número de canal donde se ubica el centroide de cada pico, y se obtienen los parámetros de una curva de energía en función de canal, por el método de cuadrados mínimos. Esto permite analizar cada uno de los picos de una muestra, tomando en cuenta el número de canal donde estos aparecen y comparándolo con la curva de calibración.

La *eficiencia* del detector es constante en prácticamente todo el rango de energías y se obtiene registrando el contaje total del espectro y dividiendo luego por la actividad de la fuente. Por lo general las muestras se colocan lo más cercanamente posible al detector para lograr una mayor sensibilidad. En esas condiciones la eficiencia total (eficiencia de detección, geométrica y de atenuación), puede superar el 40%, de acuerdo al tamaño del detector. La eficiencia de detección de las partículas alfa, una vez que éstas han entrado al detector, es cercana a la unidad, por lo tanto para geometrías estándar la eficiencia puede equipararse al factor geométrico (eficiencia geométrica).

Los *fondos* de los detectores son muy bajos y oscilan entre 1 y 10 cuentas por día, según la región y según el tipo de detector y cámara. Varios son los factores que pueden afectar el fondo, entre ellos se cuentan los roces de las fuentes con el borde del detector, la contaminación debida a la volatilidad del Po y la producida por núcleos de retroceso. La contaminación debida a núcleos de retroceso se produce en el proceso de decaimiento y emisión alfa, cuando el núcleo de la hija es eyectado, y se implanta en el detector. Una metodología bastante aceptada para evitar estos problemas es la de Sill y Olsen, que combina la aplicación de un voltaje negativo de 2-6 volt al plato donde se apoya la fuente y el mantenimiento de una capa de aire dentro de la cámara de 12-16 $\mu g/cm^2$.

Cuanto más delgado sea un pico, más fácil será resolverlo en una mezcla. Una forma de definir la *resolución* de un pico es a través del ancho a mitad de altura (FWHM). La resolución depende de una serie de factores: el tipo y tamaño de detector, distancia detector-fuente, el tipo de radionucleido (los picos son frecuentemente multipletes de diversa composición), el nivel de vacío, la calidad del montaje del radionucleido y soporte.

El *límite de detección* (LD) es una medida del nivel más bajo para el cual un radionucleido puede ser distinguido del fondo. Este es un concepto estadístico que se basa en la fluctuación del fondo de medición del equipo. Según Currie y para un 95% de confianza, es decir una probabilidad del 5% de cometer un error tipo I (falso positivo) y un error tipo II (falso negativo), la expresión que lo representa es:

$$LD(Bq) = \frac{2{,}71 + 4{,}66 \cdot \sqrt{B}}{t \cdot Ef \cdot R}$$

donde

t = tiempo de contaje (segundos)
Ef = eficiencia de medición
R = rendimiento químico
B = contaje total del fondo (cuentas)

PUESTA EN MARCHA DE LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN

Un procedimiento sistemático para la puesta en marcha de un equipo de espectrometría alfa es el siguiente:

1. Teniendo en cuenta el ancho del campo de medición que se desea (por ejemplo de 3500 a 10000 keV) y conociendo el número de canales que posee la memoria del ADC (por ejemplo 512), establecer la relación *R = (10000-3500)/512*. Luego elegir una fuente de calibración que posea al menos 2 radionucleidos de energías E1 y E2, y calcular el número de canales de separación que deberá haber entre los dos radionucleidos mediante la relación *D = (E2-E1)/R*.

2. Colocar la fuente a medir, establecer la ganancia fina del amplificador en su punto máximo y el offset en 0, y aumentar la ganancia de conversión (puede ser necesario modificar el offset en algún caso) hasta que D sea mayor o igual que el valor deseado. Luego comenzar a disminuir la ganancia fina del amplificador hasta lograr exactamente la diferencia D.

3. Calcular la posición teórica de uno de los picos y ajustar el offset hasta lograr dicha posición.

CALIBRACIÓN

La calibración de los detectores se lleva a cabo con fuentes de tres radionucleidos (Np 237, Pu 239 y Am 241) electrodepositadas según el *Procedimiento G-01* sobre discos de acero inoxidable AISI 316L de 2 cm de diámetro y 1,65 cm de diámetro activo, de la misma geometría que la correspondiente a las muestras que se procesan, las que han sido elaboradas y calibradas en actividad en nuestros laboratorios. Las fuentes poseen aproximadamente 100 Bq de actividad total y los tiempos de medición son de 1000 seg. Se registra la posición de los picos, el contaje en las zonas prefijadas para U, Pu 239 y Am 241, y la eficiencia de medición.

El procedimiento de calibración se describe en *Alfa-01b.*

CONTROL DE CALIDAD

El programa de control de calidad para los sistemas de espectrometría alfa incluye:

1. Mediciones de calibración y fondos cada dos semanas, de acuerdo con las necesidades de medición. Se registran diversos datos como posición de los picos, contaje en zona, eficiencia, etc., en el disco rígido de una PC, con copia en disquete.

2. Participación en programas de intercomparación con laboratorios extranjeros que involucran la medición de un considerable número de emisores alfa en niveles ambientales y no ambientales, en diversas matrices como aguas, filtros, vegetal, suelo y orina.

REFERENCIAS

1. Sill and Olsen, 1970, Analytical Chemistry, 42, 1596.

2. Currie, L.A. (1968), Analytical Chemistry, 40, 3, 586.

1.2. ESPECTROMETRÍA ALFA - CALIBRACIÓN EN ENERGÍA (AIfa- 01b)

APLICACIÓN

Se describe un procedimiento para la calibración en energía del sistema de espectrometría alfa y la medición de fondos. Los requerimientos, características y puesta a punto de los instrumentos de medición están descriptos en *Alfa-01a*.

EQUIPAMIENTO

- Sistema de espectrometría alfa, descripto en *Alfa-01a*
- Fuente alfa de 3 radionucleidos (“fuente de tres picos”) de energías bien diferenciadas, obtenida por electrodeposición según *Procedimiento G-01*
- Ej. Np 237 - Pu 239 - Am 241
- Disco de acero inoxidable AISI 316L de 2 cm de diámetro, pulido en una de sus caras

PROCEDIMIENTO

Para la *calibración en energía* se registra el número de canal donde se ubica el centroide de cada pico, y se obtienen los parámetros de una curva de energía en función de canal, por el método de cuadrados mínimos. Esto permite analizar cada uno de los picos de una muestra, tomando en cuenta el número de canal donde estos aparecen y comparándolo con la curva de calibración.

Manual

1. Colocar la fuente alfa de tres picos en la cámara alfa, en una geometría definida. La distancia al detector determina la geometría empleada.
2. Cerrar herméticamente la cámara y efectuar vacío.
3. Aplicar la correspondiente tensión al detector acorde a las especificaciones del fabricante.
4. Medir durante el tiempo necesario para colectar suficiente número de cuentas, de manera tal que sea posible la identificación de los picos.
5. Archivar el espectro obtenido de la fuente alfa, indicando el detector empleado, la geometría y que se trata de un espectro de calibración.
6. Mediante el empleo del software Maestro II para Windows, que controla el sistema de espectrometría alfa, cargar los datos de las energías correspondientes a los números de canal en los cuales aparecen los picos del espectro.
7. Llevar el voltaje a 0 volt y permitir el ingreso de aire.
8. Abrir la cámara y retirar el disco.

Automático

Para realizar esta tarea, en el caso de los sistemas Ortec-Octete™, se dispone de un software de computación desarrollado en la Autoridad Regulatoria Nuclear basado en el sistema de programa-

ción de comandos que posee el Maestro II y software ejecutables complementarios, que permite el manejo de todos los detectores al mismo tiempo. El procedimiento se detalla a continuación.

1. Especificar en el programa de medición el número de cámara a calibrar, el tiempo vivo de medición, la geometría y el número (identificación) de fuente a emplear.
2. Colocar las fuentes bajo los detectores y efectuar vacío.
3. Ejecutar el programa de medición que realiza las siguientes operaciones:
   - **i.** Prefija el tiempo de medición, activa la tensión del detector, borra la memoria y comienza a medir.
   - **ii.** Cuando finaliza la medición, automáticamente desactiva la tensión del detector y almacena el espectro correspondiente a cada medición en un subdirectorio o carpeta llamado " C:\ user\alpha\camXX\geoY", siendo XX el número de cámara e Y el número de geometría. El espectro lleva el nombre "CalibXX".
   - **iii.** Archiva los datos de la medición en una base de datos fechada y anual.

Los datos pueden ser consultados entrando por cámara y geometría, como datos recientes o como datos promedio.

Los detectores son operados a 10 keV por canal, cubriendo un rango de energías de 3-8 MeV aproximadamente.

Además, sobre cada geometría de medición, se calcula el *factor geométrico* tomando como datos el radio de la ventana del detector, la distancia detector-fuente y el radio de la fuente. Los cálculos se llevan a cabo con un software desarrollado en la ARN y basado en la expresión propuesta por Jaffey.

MEDICIÓN DE FONDO

Manual

1. Colocar el disco de acero inoxidable, perfectamente desengrasado y seco, en la cámara alfa, en una geometría definida. Este disco de acero inoxidable se utiliza para las mediciones de fondo. La distancia al detector determina la geometría empleada.
2. Cerrar herméticamente la cámara y efectuar vacío.
3. Aplicar la correspondiente tensión al detector acorde a las especificaciones del fabricante.
4. Medir el fondo durante 2 días como mínimo.
5. Archivar el espectro de fondo obtenido, para la mencionada cámara y la geometría de medición empleada.

Automático

Para la medición de fondos los pasos a seguir son los mismos que se realizan en la calibración, solo que se utiliza un disco limpio en lugar de fuentes alfa, y cuando la medición llega a su fin, se corre un segundo programa que desactiva la tensión y graba el espectro correspondiente a cada medición en un subdirectorio o carpeta llamado "c:\user\alpha\camXX\geoY". El espectro lleva el nombre "FZZcXXgY", donde ZZ es el número de fondo, XX es el número de cámara e Y es el número de geometría.

Referencias

Jaffey, A.H. (1954), The Review of Sc. Inst., 25, 4, 349.

2. MEDICIÓN DE ACTIVIDAD ALFA TOTAL POR CENTELLEO SÓLIDO ZnS (Ag) (ALFA TOTAL - 01)

APLICACIÓN

Se describe un procedimiento para la medición conjunta de todos los radionucleidos emisores alfa mediante centelleo sólido. Se emplean discos de Mylar con una de sus caras impregnadas homogéneamente con sulfuro de cinc impurificado con plata ZnS (Ag) (centellador sólido), cada uno de ellos asociados a un tubo fotomultiplicador. La medición se lleva a cabo en un compartimento cerrado para evitar el ingreso de luz visible.

Se aplica a aguas o soluciones que no dejen residuo al ser evaporados, o que éste sea mínimo. También se aplica a filtros que posean un diámetro similar al del disco de ZnS(Ag). La eficiencia de medición se determina mediante el agregado de un estándar interno luego de la medición de la muestra.

EQUIPAMIENTO Y MATERIALES

- Contador alfa de centelleo sólido
- Discos de Mylar de ZnS (Ag) de 5 cm de diámetro, no aluminizados
- Solución calibrada de un radionucleido emisor alfa, (ejemplo, Am 241)
- Filtro patrón de un radionucleido emisor alfa
- Vidrios de reloj de 4,8 cm de diámetro
- Gabinete de acero inoxidable equipado con dos lámparas infrarrojas
- Anillos de cartulina de 4,7 cm de diámetro interno y 5 cm de diámetro externo

PROCEDIMIENTO

Aguas y Soluciones

1. Colocar el disco de ZnS (Ag) sobre el tubo fotomultiplicador, con la cara impregnada del centellador sólido dirigida hacia la muestra.
2. Colocar el vidrio de reloj, limpio y rotulado, con la cara cóncava dirigida hacia el disco de ZnS (Ag).
3. Cerrar la cámara y llevar a “0 cuentas” el display del contador alfa.
4. Prefijar el tiempo de contaje en 1000 minutos.
5. Iniciar el contaje del fondo.
6. Transcurridos los 1000 minutos, registrar las cuentas. Calcular las cuentas por minuto del fondo (cpm_F).
7. Abrir la cámara y retirar el vidrio de reloj.
8. Medir 1mL de la muestra y depositar sobre la cara cóncava del vidrio de reloj anterior.
9. Secar bajo lámpara infrarroja.
10. Colocar el vidrio de reloj, conteniendo la muestra, en el contador alfa, en la posición indicada en el punto 2.
11. Medir durante 1000 minutos o hasta alcanzar suficiente número de cuentas, de manera tal que sea despreciable el error estadístico de la medición.

12. Registrar el número de cuentas y calcular las cuentas por minuto (cpm_{F+M}).

13. Abrir la cámara y retirar el vidrio de reloj.

14. Medir 1mL de la solución calibrada del radionucleido emisor alfa (estándar interno) y depositar sobre la cara cóncava del vidrio de reloj anterior.

15. Secar bajo lámpara infrarroja.

16. Colocar el vidrio de reloj, conteniendo la muestra, en el contador alfa, en la posición indicada en el punto 2.

17. Medir durante 1000 minutos o hasta alcanzar suficiente número de cuentas, de manera tal que sea despreciable el error estadístico de la medición

18. Registrar el número de cuentas y calcular las cuentas por minuto (cpm_{F+M+EI}).

19. Abrir la cámara y retirar el vidrio de reloj.

Filtros

1. Colocar el disco de ZnS (Ag) sobre el tubo fotomultiplicador, con la cara impregnada del centellador sólido dirigida hacia la muestra.

2. Colocar el anillo de cartulina sobre el disco de ZnS (Ag). Este anillo se emplea para evitar el contacto directo del filtro con el disco centellador.

3. Colocar un filtro limpio (“blanco”) para la medición de fondo, sobre el anillo.

4. Cerrar la cámara y llevar a “0 cuentas” el display del contador alfa.

5. Prefijar el tiempo de contaje en 1000 minutos.

6. Iniciar el contaje del fondo.

7. Transcurridos los 1000 minutos, registrar las cuentas. Calcular las cuentas por minuto del fondo (cpm_F).

8. Abrir la cámara y retirar el filtro “blanco”.

9. Colocar la muestra de filtro en el contador alfa, con la cara activa dirigida hacia el disco de ZnS (Ag).

10. Medir durante 1000 minutos o hasta alcanzar suficiente número de cuentas, de manera tal que sea despreciable el error estadístico de la medición.

11. Registrar el número de cuentas y calcular las cuentas por minuto (cpm_M).

12. Abrir la cámara y retirar la muestra.

13. Agregar una cantidad conocida del estándar interno en el filtro muestra, teniendo la precaución de distribuir homogéneamente la solución patrón sobre la cara activa

14. Secar ***suavemente*** bajo lámpara infrarroja, para evitar la deformación y/o alteración del filtro por calor.

15. Colocar el filtro en el contador alfa, con la cara activa dirigida hacia el disco de ZnS (Ag).

16. Medir durante 1000 minutos o hasta alcanzar suficiente número de cuentas, de manera tal que sea despreciable el error estadístico de la medición.

17. Registrar el número de cuentas y calcular las cuentas por minuto (cpm_{M+EI}).

18. Abrir la cámara y retirar la muestra.

CÁLCULOS

Aguas y Soluciones

Para calcular la concentración de actividad alfa total se aplica la siguiente expresión:

$$A_{AT} = \frac{cpm_{F+M} - cpm_{F}}{Ef \times 60 \times V}$$

$$Ef = \frac{cpm_{F+M+EI} - cpm_{F+M}}{A_{EI}}$$

donde

A_{AT}	= concentración de actividad alfa total (Bq/mL)
cpm_F	= cuentas por minuto del fondo
cpm_{F+M}	= cuentas por minuto del fondo más muestra
cpm_{F+M+EI}	= cuentas por minuto del fondo mas muestra mas estándar interno
Ef	= eficiencia de medición (cpm/dpm)
V	= volumen de la alícuota de muestra (mL)
A_{EI}	= actividad agregada de estándar interno (dpm)

Filtros

Para calcular la actividad alfa total en el filtro se emplea la siguiente expresión:

$$A_{AT} = \frac{cpm_{M} - cpm_{F}}{Ef \times 60}$$

$$Ef = \frac{cpm_{M+EI} - cpm_{M}}{A_{EI}}$$

donde

A_{AT}	= actividad alfa total en el filtro (Bq/filtro)
cpm_F	= cuentas por minuto del fondo
cpm_M	= cuentas por minuto de la muestra
cpm_{M+EI}	= cuentas por minuto de la muestra más estándar interno
Ef	= eficiencia de medición (cpm/dpm)
A_{EI}	= actividad agregada de estándar interno (dpm)

LÍMITE DE DETECCIÓN

El límite de detección de la medición se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$LD = 3{,}3 \times \frac{\sqrt{cpm_F / t_F}}{60 \times Ef}$$

donde

LD	= límite de detección (Bq)
cpm_F	= cuentas por minuto del fondo
t_F	= tiempo de medición del fondo
Ef	= eficiencia de la medición (cpm/dpm)

Para un fondo de 0,05 cpm medido durante 1000 minutos y una eficiencia de 40%, el LD de la medición resulta 10^{-3} Bq. Para aguas y soluciones se divide este valor por la alícuota medida, resultando ser 1Bq/L para 1mL de muestra.

3. CENTELLEO LÍQUIDO (CI-01)

APLICACIÓN

Las técnicas de medición por centelleo líquido son aplicables a muestras líquidas en medios acuosos o medios orgánicos, que contengan radionucleidos emisores alfa, beta y gamma.

Puede llevarse a cabo la medición cualitativa y cuantitativa de más de un emisor beta en una mezcla, como también de aquellas mezclas que contengan emisores alfa y beta.

También es aplicable a soluciones bifásicas en las que una de las fases es una solución acuosa y la otra fase es una mezcla centelladora.

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE MEDICIÓN

Cifra de mérito (FOM)

Para la determinación de la cifra de mérito (parámetro de máxima sensibilidad) es necesario contar con un blanco y un patrón de actividad conocida, disueltos en la matriz y mezcla centelladora en las mismas proporciones en que se medirán las muestras. En el caso de que se trate de un batch de muestras con extinción muy variable, se debe usar la muestra menos extinguida para determinar la cifra de mérito, siempre que esta tenga una actividad de por lo menos tres órdenes superior al blanco.

La ventana en que se harán las mediciones se determina de la siguiente manera:

1. Cargar en un cassette con bandera de PRIOSTAT en la posición IMPAR el blanco y en la posición PAR el patrón
2. Ir al menú y apretar F2 (PRIOSTAT)
3. Apretar F3 (SAMPLE PRIOSTAT)
4. Elegir OPT REGION poniendo en forma manual el límite mínimo (0) y el máximo (cercano a la energía máxima)
5. Apretar ALT-F2 (todo lo que se haga en PRIOSTAT se debe hacer manualmente)
6. Apretar F4 y dejar contar por lo menos 30 minutos el blanco
7. Apretar F6 (parar la medición)
8. Apretar F5 con lo que se posiciona el siguiente vial (patrón o muestra menos extinguida)
9. Apretar F4 y contar hasta tener una estadística aceptable (2S = 1% o menos)
10. Apretar F6 (parar nuevamente)
11. La región optimizada aparecerá en pantalla automáticamente junto al factor de mérito
12. Ir a SAMPLE NUCLIDES y poner los límites establecidos en la optimización

CÁLCULO DE LA CIFRA DE MÉRITO (FOM)

$$FOM = \frac{(CPM_p)^2}{(CPM_B)}$$

donde

CPM_p = cuentas por minuto del patrón preparado o de la muestra menos extinguida en la región optimizada

CPM_B = cuentas por minuto del blanco en la región optimizada

PARÁMETROS MÁS IMPORTANTES PARA DEFINIR UN PROTOCOLO

A. Pulsar F1 (editar protocolo).

B. Elegir un número no editado y pulsar ENTER.

C. Pulsar F2 (identificación del protocolo, del usuario y comentarios).

D. Pulsar F1 (volver al inicio).

E. Pulsar F3 (prefija los parámetros más importantes del protocolo).

DATA MODE: permite seleccionar la forma en que se va a medir una muestra: CPM, SINGLE DPM, DUAL DPM, FS-DPM, SPC, CODED, COUNT STDS Y A/B STDS.

RADIONUCLIDE: permite medir en forma manual (pudiendo establecer una región distinta de la optimizada), o medir haciendo uso de curvas de extinción preparadas en el laboratorio (o preseteadas en el equipo), como así también elegir un discriminador para el caso de mediciones alfa/ beta.

COUNT TERMINATION: permite elegir entre cortar el conteo por tiempo o por alcanzar un mínimo error en 2σ.

QUENCH INDICATOR: permite elegir el parámetro indicador de extinción para calcular la eficiencia: t-SIE, t-SIE/AEC o SIS.

F. CONDICIONES ESPECIALES

G. LUMINISCENCE CORRECTION, permite hacer una corrección del conteo por fotoluminiscencia o quimioluminiscencia.

H. COLORED SAMPLES, permite corregir el conteo en muestras coloreadas de nucleidos de baja energía. Se aplica fundamentalmente a muestras de tritio con t-SIE menor que 200.

I. LOW LEVEL COUNT MODE, permite bajar los fondos. Si la medición se hace contra curva de extinción, ésta se debió determinar previamente usando esta función.

Esta función no debe ser usada cuando se hace corrección por luminiscencia.

J. Pulsar F1 (volver al inicio).

K. Pulsar F5 (impresión de datos).

Aquí se puede seleccionar cada una de las celdas que interesa:

N° de muestra, tiempo, CPM en c /u de las regiones elegidas, ERROR EN 2σ en cada región, t-SIE, SIS, FLAG, LUMINISCENCIA .También permite crear celdas de cálculo y obtener resultados directos de las muestras en cualquier unidad (dpm, Bq, Ci)

L. Pulsar F1 (volver al inicio).

M. Pulsar F1 (salir del protocolo editado)

N. Colocar la bandera correspondiente al protocolo elegido, en un cassette.

O. Colocar las muestras en el cassette. Si se mide descontando el fondo de cada muestra, colocar el vial con el blanco en la primera posición y fijarlo en las condiciones de medición del protocolo.

P. Pulsar F10 (Start) para comenzar la medición. (Termina automáticamente por tiempo o conteo de acuerdo a la prefijación en el protocolo)

Q. Pulsar F11 (Stop) para terminar la medición. (Si quiere terminarse manualmente)

4. ESPECTROMETRÍA GAMMA (GAMMA-01)

APLICACIÓN

Determinar la actividad de radionucleidos emisores gamma en muestras de aire, suelo, alimentos, agua, leche, sedimento, o cualquier otra muestra del medio ambiente que resulte de interés para la evaluación de potenciales dosis al público.

Determinar la actividad de radionucleidos emisores gamma en muestras provenientes de instalaciones radiactivas o nucleares, como apoyo a las inspecciones regulatorias.

INTRODUCCIÓN

Esta técnica se utiliza para determinar la actividad de radionucleidos emisores gamma, con energías comprendidas entre 40 keV y 3000 keV, en una gran variedad de muestras.

Antes de realizar cualquier medición el sistema de espectrometría gamma debe ser calibrado en energía, forma y eficiencia, utilizando los procedimientos correspondientes.

La muestra, previamente preparada y envasada en un recipiente estándar, es medida en el interior de un blindaje para disminuir el fondo natural de radiación.

El espectro obtenido es analizado teniendo en cuenta la posición y la intensidad de los picos presentes. La posición o energía de los picos es utilizada para la identificación de los radionucleidos presentes y la intensidad o área de los mismos es utilizada para calcular la actividad correspondiente.

El sistema de espectrometría utilizado, el tiempo de medición prefijado y la geometría elegida dependen de la actividad esperada y del límite de detección requerido.

Resumen	
Análisis	Radionucleidos emisores gamma con energías comprendidas entre 40 keV y 3000 keV
Tipo de muestra	Filtro de aire, suelo, agua, leche, alimentos, pasto, barridos de superficie, filtros de carbón activado, etc.
Geometría de la muestra	Envase estándar (dependiendo del tipo de muestra)
MDA	0,02 - 1 Bq (dependiendo de la eficiencia del detector, del fondo y del tiempo de medición)
Tiempo de medición	600 - 86400 s
Exactitud	±10% - ±20% (dependiendo de la geometría, de la exactitud de la calibración, del nivel de actividad, etc.)

EQUIPAMIENTO DISPONIBLE

1. Medición de muestras ambientales (Laboratorio ARN-CAE-34)

Denominación	**P**	**W**	**C**	**D**
Detector Marca	Canberra	Canberra	Canberra	Canberra
Modelo	GC 6020	GC 6020	GC 2518	GC 2518
Número de Serie	12007268	01017280	11953639	
Eficiencia Relativa	60%	60%	25%	25%
FWHM a 1332 keV	2,0	2,0	1,8 keV	1,8 keV
Pico/Compton	66:1	66:1	54:1	54:1
Geometría	Coaxial	Coaxial	Coaxial	Coaxial
Blindaje	15 cm de Pb	15 cm de Pb	15 cm de Pb	15 cm de Pb
Preamplificador Marca	Canberra	Canberra	Canberra	Canberra
Modelo	2002CSL	2002CSL	2002CSL	2002CSL
Amplificador Marca	Canberra	Canberra	Canberra	Canberra
Modelo	2025	2025	2025	2025
F.de Alta Tensión Marca	Canberra	Canberra	Canberra	Canberra
Modelo	3106D	3106D	3106D	3106D
MCA	Ortec 919 "Spectrum Master"			
Emulador MCA	GammaVision A66 - N32, Version 5.20			

2. Medición de muestras ambientales (Laboratorio ARN-CAE-33)

Denominación	**Q**	**V**	**T**	**G**
Detector Marca	Canberra	Ortec	Ortec	Canberra
Modelo	GC 6020	GEM-60195	GEM-60195	GL0110P
Número de Serie	11987024	39-P40917A	39-P21302A	4964250
Eficiencia Relativa	60%	60%	60%	-
FWHM a 1332 keV	2,0	1,95	1,95 keV	160 eV (a 5,9 keV)
Pico/Compton	73:1	70:1	70:1	-
Geometría	Coaxial	Coaxial	Coaxial	Planar
Blindaje	4" de Pb	6" de Pb	4" de Pb	4" de Pb
Preamplificador Marca	Canberra	Ortec	Ortec	Canberra
Modelo	2002CSL	257P	257P	2002CSL
Amplificador Marca	Canberra	Ortec	Ortec	Canberra
Modelo	2025	672	672	2025
F.de Alta Tensión Marca	Canberra	Ortec	Ortec	Canberra
Modelo	3106D	659	659	3106D
MCA	Ortec 919 "Spectrum Master"			
Emulador MCA	GammaVision A66 - N32, Version 5.20			

3. Medición de muestras provenientes de instalaciones radiactivas y nucleares (Laboratorio ARN-CAE-11).

Denominación	**E**	**B**	**A**
Detector Marca	Ortec	Canberra	Silena
Modelo	GMX-50220	GC-2518	RGC-P2519
Número de Serie	35-TN31060A	11953616	P231
Eficiencia Relativa	50%	25%	25%
FWHM a 1332 keV	2,2	1,8	1,9 keV
Pico/Compton	58:1	54:1	50:1
Geometría	Coaxial	Coaxial	Coaxial
Blindaje	5 cm de Pb	5 cm de Pb	10 cm de Pb
Preamplificador Marca	Ortec	Canberra	Silena
Modelo	237N	2002CSL	RFP 10
Amplificador Marca	Ortec	Canberra	Silena
Modelo	672	2025	7611
F. de Alta Tensión Marca	Ortec	Canberra	Silena
Modelo	659	3106D	7716
MCA	Ortec 919 "Spectrum Master"		
Emulador MCA	GammaVision A66 - N32, Version 5.20		

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La muestra es preparada y envasada en un recipiente estándar en el sector preparación de muestras de acuerdo con el procedimiento correspondiente.

1. Geometrías utilizadas

Código	Descripción
B-100	Botella plástica de 100 ml de capacidad
B-250	Botella plástica de 250 ml de capacidad
B-1000	Botella plástica de 1000 ml de capacidad
V-20	Vial plástico de 20 ml de capacidad
P-5	Pastilla de ∅ 70 mm x 5 mm de altura
P-10	Pastilla de ∅ 70 mm x 10 mm de altura
P-15	Pastilla de ∅ 70 mm x 15 mm de altura
P-20	Pastilla de ∅ 70 mm x 20 mm de altura
P-30	Pastilla de ∅ 70 mm x 30 mm de altura
R-150	Pote plástico de ∅ 70 mm x 40 mm de altura, capacidad 150 ml
F-50	Filtro de fibra de vidrio de ∅ 50 mm
F-70	Filtro de fibra de vidrio de ∅ 70 mm
C-50	Cartucho de carbón activado de ∅ 50 mm x 20 mm de altura
G-GN	Garrafa para gases nobles de ∅ 110 mm x 210 mm de altura

MEDICIÓN

1. Colocar la muestra en contacto con el detector y cerrar el blindaje.
2. Iniciar el Programa GammaVision de Perkin Elmer - Ortec, modelo A66-N32, versión 5.20.
3. Prefijar el tiempo de medición (dependiendo del tipo de muestra a medir, la actividad esperada y el límite de detección deseado para los radionucleidos de interés).
4. Borrar la información existente.
5. Comenzar la adquisición de datos que continuará hasta que halla transcurrido el tiempo prefijado. Para el caso de las muestras provenientes de inspecciones en instalaciones radiactivas o nucleares, verificar el tiempo muerto. Si este supera el 30%, medir la muestra alejada del detector en la siguiente posición calibrada.
6. Grabar el espectro medido de acuerdo al código de identificación de la muestra.

Código de identificación de la muestra:

T T L L L N N N

__ __ __ __ __ __ __ __

TIPO DE MUESTRA LUGAR NÚMERO DE MUESTRA

Código de lugar:

Código	Lugar
CAB	Centro Atómico Bariloche
CAE	Centro Atómico Ezeiza
CAN	Central Nuclear Atucha
BA	Buenos Aires
EMB	Central Nuclear Embalse

Código de tipo de muestra:

Código	Tipo de muestra
A	Agua
AA	Agua del A° Aguirre (CAE)
AP	Agua potable
C	Crustáceos (por ejemplo, camarón)
D	Depósito
DI	Dieta
F	Filtro de aire
L	Leche
M	Moluscos (por ejemplo, mejillón)
N	Agua de napa
P	Peces
PA	Pasto
PL	Plancton
S	Sedimento
T	Tierra
V	Vegetales

ANÁLISIS DEL ESPECTRO

El análisis del espectro, que comprende la identificación de los nucleidos presentes y el cálculo de las actividades correspondientes, se realiza con el programa GammaVision de Perkin Elmer - Ortec, modelo A66-N32, versión 5.20.

1. Cargar el archivo con el espectro a ser analizado.
2. Cargar el archivo con la calibración en energía, forma y eficiencia correspondiente al detector y geometría utilizada.
3. Cargar el archivo con la librería que contiene los nucleidos de interés.
4. Prefijar el tipo de MDA a calcular.
5. Realizar el análisis del espectro completo.
6. Obtener los resultados del reporte correspondiente. En caso de duda revisar mediante el análisis manual y/o el interactivo.
7. Guardar los resultados obtenidos. En el caso de muestras ambientales, en la Base de Datos Ambientales, para el caso de muestras enviadas por inspectores elaborar el informe correspondiente.

DESTINO DE LA MUESTRA

La muestra, una vez medida y analizada, es devuelta al Sector preparación de muestras para su almacenamiento o descarte.

REFERENCIAS

1. Gamma-Ray Spectrometry in the Environment. ICRU Report 53.
2. Generic procedures for monitoring in a nuclear or radiological emergency. Procedures D2, D2a, D2b. IAEA-TECDOC-1092.
3. Gamma and X-Ray Spectrometry with Semiconductor Detectors. Debertin K. and Helmer R.G. (1988).
4. Gamma Vision A66-N32, version 5.20. Sofware User´s Manual. Perkin Elmer - Ortec.

5. CONTADOR DE TODO EL CUERPO (CTC-01)

APLICACIÓN

1. Efectuar el control rutinario de la contaminación interna con emisores gamma, de los agentes de la CNEA. que correspondiere de acuerdo a las características de su trabajo.
2. Efectuar el control de la contaminación interna con emisores gamma, de los inspectores del OIEA y/o ABACC, como apoyo a las inspecciones regulatorias de los programas de salvaguardias.
3. Efectuar el control de la contaminación interna con emisores gamma de las personas involucradas en incidentes o accidentes radiológicos y nucleares.

INTRODUCCIÓN

El Laboratorio Contador de Todo el Cuerpo se ocupa de la medición de la contaminación interna con emisores gamma, esto es, la determinación de la actividad radiactiva gamma que estuviera presente en el interior del organismo como consecuencia de un proceso de incorporación de material radiactivo.

Para realizar las mediciones generalmente se utilizan uno o más detectores colocados en torno a la persona a medir, todo de acuerdo a una geometría de medición pre-establecida. Para lograr mejores límites de detección del sistema, el conjunto detectores-persona se coloca dentro de recintos cuyas características disminuyen la radiación de fondo natural que llega a los detectores. El sistema debe estar adecuadamente calibrado en energías y en eficiencia de acuerdo a la geometría de medición utilizada.

CARACTERÍSTICAS DEL CONTADOR

Recintos blindados

En particular, El laboratorio Contador de Todo el Cuerpo de este establecimiento cuenta con dos recintos blindados, de dimensiones interiores de (profundidad, ancho, alto) 200 x 93 x 130 cm^3 y de 200 x 150 x 200 cm^3.

Material utilizado en la construcción de los recintos

El más pequeño está construido de ladrillos de plomo de 8 cm de espesor.

El más grande tiene paredes de hierro de 15 cm de espesor, recubiertas en su interior con capas de plomo y de cadmio de 0,3 y 0,03 cm de espesor respectivamente. Todos los materiales utilizados en la construcción fueron controlados para asegurar la ausencia de radioemisores. El peso total del recinto es de aproximadamente 40 Tn.

Detectores de los recintos

Recinto pequeño: Posee un detector de NaI(Tl) 3” x 3” colocado en el centro del recinto, fijo, y otro NaI(Tl) 2” x 2” rodeado por una capa de plomo de 3 mm, que puede colocarse en un soporte con un colimador de plomo (consistente en un cilindro de 7 mm de espesor y 60 mm de diámetro interno seguido de un tramo de 50 mm de largo, 13 mm de espesor y 45 mm de diámetro

interno). El primer detector se utiliza para efectuar mediciones rutinarias de control de la contaminación interna en todo el cuerpo, mientras que el segundo se puede utilizar eventualmente para analizar contaminación en órganos.

Recinto grande: Posee dos sistemas con detectores semiconductores de germanio hiperpuro: Uno consta de un detector semiconductor GeHp de eficiencia 100% con recipiente Dewar de 15 litros. El otro es un sistema ACT-II de Canberra, destinado al control de contaminación con actínidos, que consta de 4 detectores GeHp dispuestos de a pares, cada par con un Dewar de 15 litros. Ambos sistemas están suspendidos en estructuras móviles de forma de poder variar su posición sobre la camilla, que es articulada en tres partes.

Otros sistemas de medición

Medición de I 131 en tiroides

El laboratorio Contador de Todo el Cuerpo cuenta con un banco de análisis de I 131 en tiroides, que consiste en un detector de NaI(Tl) 2" x 2" con colimador de plomo de 25 mm de espesor unido a un soporte para apoyar el mentón del individuo a analizar.

Silla Blindada

Es un sistema portátil de monitoreo de la contaminación interna, que consiste en una silla blindada con 1,5 cm de plomo en su base y respaldo, con un detector NaI(Tl) 3"x 3" en un colimador de plomo de 5 cm de espesor con una pantalla en forma de prisma de 2 cm de espesor. El conjunto se encuentra sobre una plataforma con ruedas que permite el desplazamiento. Una ventana de plomo colocada en la pantalla permite, al modificar el ángulo del colimador y abriendo o cerrando la misma, realizar la medición de todo el cuerpo o restringirla a la zona toráxica o abdominal. El peso aproximado del sistema es de 700 kg, por lo cual se la puede instalar en unidades móviles y realizar controles in situ.

Calibración de los sistemas

Geometrías de calibración

Las geometrías empleadas para la calibración de los sistemas de medición son: silla, plana, tórax y abdomen.

Tipos de fantomas utilizados para calibrar:

Para la calibración de los sistemas de medición contamos con fuentes puntuales, un fantoma Livermore y dos fantomas BOMAB todos en tamaño de hombre estándar.

El fantoma Livermore cuenta con órganos (pulmones, hígado y nódulos linfáticos) blancos y contaminados con diferentes radionucleidos simulando contaminación homogénea en órgano. Cuenta con cuatro capas (chest plates) de diferentes espesores para calibrar en eficiencia teniendo en cuenta las diferencias en espesor de tejido.

Los fantomas BOMAB se utilizan con diferentes soluciones de material radiactivo simulando contaminación homogénea en todo el cuerpo.

Para el sistema de análisis de I 131 se fabrican fantomas con papel de filtro de la forma de la glándula tiroides embebida en una solución con cantidades conocidas de I 131, y se anteponen diferentes espesores para simular la atenuación en tejido.

Rango de energías de calibración

En general, el rango de energías en que se trabaja en el laboratorio está comprendido entre los 100 y los 2000 keV. Para el sistema de control de contaminación con actínidos, el rango de medición va de los 5 a los 300 keV.

Tipos de mediciones rutinarias que se realizan

Las mediciones rutinarias se practican sobre el personal del Centro Atómico Ezeiza que trabajan con posibilidad de contaminación interna con diferentes radionucleidos, a saber las áreas de planta de producción de radioisótopos, planta de fisión, residuos radiactivos, reactor y área de Co 60, así como de las áreas del Centro Atómico Ezeiza y Centro Atómico Constituyentes que involucran materiales nucleares.

Las mediciones de cuerpo entero son de 300 segundos.

Las mediciones de control de actínidos son de 3000 segundos.

Límites de detección

Como ejemplo de límites de detección para el sistema de medición de cuerpo entero, en el tiempo normal de medición (300 s), mencionaremos que los de Cs 137 y Co 60 son de 320 Bq y 330 Bq respectivamente. Si las mediciones de cuerpo entero se realizan con el detector GeHp 100% (en 300 s), esos límites son del orden de los 140 Bq.

Para el sistema de medición de actínidos, los límites de detección para un tiempo de medición de 3000 segundos y para un espesor de tejido equivalente de 1,64 cm, son de 4 Bq para U 235, 70 Bq para U 238 y 935 Bq para Pu 238.

Expresión para calcular el límite de detección

La expresión empleada es:

$$MDA = \frac{3 + 4{,}65 \cdot \sqrt{fondo}}{Ef \cdot p \cdot T}$$

donde

- fondo = es la cantidad de cuentas en la región de interés en cuestión, medidas con un fantoma blanco.
- Ef = es la eficiencia de detección para la energía considerada (expresada en cuentas por unidad de tiempo y por desintegración).
- P = es la eficiencia de emisión (expresada en desintegraciones por unidad de actividad).
- T = es el tiempo vivo de la medición (expresado en unidad de tiempo).

Códigos para realizar el análisis de espectros

Para efectuar el análisis de los espectros medidos se utilizan programas desarrollados a partir del software System 100 de Canberra para las mediciones con ioduro de sodio y Genie PC o Gamma Vision para los espectros tomados con detectores semiconductores.

En cuanto a la comparación con datos conocidos de radionucleidos, se utilizan las bibliotecas propias de cada programa o el Nuclide Navigator.

PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN

Cuando la persona concurre al laboratorio para realizar el control, se lo hace cambiar de ropa, debiendo colocarse un guardapolvo y cubrezapatos, a efectos de evitar posibles contaminaciones de los sistemas.

Una vez en condiciones, la persona se posiciona en el sistema, de acuerdo a la geometría de medición.

Se procede a la toma de datos (espectro).

Se analiza, con la subrutina correspondiente en cada caso, el espectro de medición, determinándose el radionucleido presente y la actividad retenida al momento de la medición.

Medición rutinaria en recinto pequeño

Estas mediciones se realizan utilizando el detector NaI (Tl)-3" x 3" suspendido en el centro del recinto. El sistema de medición consta de:

- Detector NaI (Tl)-3" x 3" BICRON modelo 3m^3/3 con base 2007P
- Fuente de alta tensión CANBERRA mod. 3002D
- Amplificador CANBERRA mod. 2011
- Mixer Router CANBERRA mod. 1520
- P.C. con placa multicanal CANBERRA mod. SYSTEM 100

La alta tensión del detector es de 900 V. La señal del amplificador se conecta a la entrada nro.1 del Mixer Router, el cual está configurado en 16 entradas, 16 K de memoria y 1 K de ganancia.

Una vez en sistema Windows 3.1, se corre el programa de toma de espectros MCA-S100. Se configuran también por soft los valores de 16 K de memoria y de 1 K de ganancia, con 1024 canales para cada entrada.

Mediante el menú que aparece en la fila superior de la pantalla, se programa el canal (o sea el detector), el tiempo de medición, y se procede a la misma.

Una vez que se completa la toma de datos, se graba el espectro.

Para procesar el espectro grabado, se sale del programa y se corre otro llamado ECLIWIN. El mismo presenta la lista de espectros de extensión mca grabados en el directorio C\Windows\S100\ que pueden cargarse. El programa arroja un listado de picos encontrados, intensidad de los mismos y actividad de los radionucleidos a que corresponden. Previamente, es necesario tener cargadas las curvas de calibración en energía y en eficiencia.

Medición con detector GeHp 100%

El sistema de medición consta de:

- Detector GeHp 100% CANBERRA mod. GC10021 con preamplificador mod. 2002C
- Amplificador CANBERRA mod. 2025
- ADC 8075
- P.C. con placa multicanal CANBERRA mod. SYSTEM 100

La alta tensión del detector es de +4500 V.

Una vez en el sistema Windows 95, se corre el programa Genie PC 2000, y se carga el archivo de configuración creado previamente mediante el programa editor de configuración de entrada.

Con el menú del programa se pueden programar los parámetros de toma de espectro y realizar la medición.

El espectro adquirido se graba en el disco duro. Luego se lo procesa con las opciones del menú Analyze. Para ello es necesario tener cargadas las curvas de calibración en energía y en eficiencia. Dentro de este menú, está la opción de efectuar el reporte en el cual figure la búsqueda de picos, la indexación y el cálculo de actividades de los radionucleidos encontrados.

Medición de actínidos en pulmones

Para el análisis de actínidos en pulmones se utiliza el sistema ACT-II de CANBERRA que se encuentra en el recinto grande. El equipamiento consta de:

- 4 detectores GeHp mod. GL3820RT/S
- 4 amplificadores CANBERRA mod. 2025
- 4 fuentes de alta tensión CANBERRA mod. 3106D
- 1 ADC CANBERRA mod. 8706 configurado en 8 K de memoria y 1 K de ganancia.
- 1 mixer CANBERRA mod. 8224S
- 1 PC con placa multicanal CANBERRA mod. SYSTEM 100

Las altas tensiones de los detectores son de 2000 V, 2000 V, 3000 V y 2500 V para los detectores cuyos respectivos números de serie son 4994505, 4994506, 4994495 y 4994527.

Una vez en el sistema Windows 95, se corre el programa Genie PC 2000, y se carga por cada detector el archivo de configuración creado previamente mediante el programa editor de configuración de entrada (aparecen como archivos DET01, DET02, DET03 y DET04). Con el menú del programa se pueden programar los parámetros de toma de espectros y realizar la medición.

Los cuatro espectros adquiridos (uno por cada detector) se graban en el disco duro. Luego se los suma y al espectro resultante se lo procesa con las opciones del menú Analyze. Para ello es necesario tener cargadas las curvas de calibración en energía y en eficiencia. Dentro de este menú, está la opción de efectuar el reporte en el cual figure la búsqueda de picos, la indexación y el cálculo de actividades de los radionucleidos encontrados.

Medición con sistema de silla portátil

El sistema de medición consta de:

- Detector de NaI(Tl) 3”x 3” BICRON con base de preamplificador 2007P
- Fuente de alta tensión CANBERRA mod. 3102
- Amplificador CANBERRA mod. 2010
- ADC CANBERRA mod. 8075, configurado en 1 K de memoria y 1 K de ganancia
- 1 PC con placa multicanal CANBERRA mod. SYSTEM 100

La alta tensión del detector es de 1000 V.

Una vez en sistema Windows 3.1, se corre el programa de toma de espectros MCA-S100. Se configuran también por soft los valores de 1 K de memoria y de 1 K de ganancia, con 1024 canales para cada entrada.

Mediante el menú que aparece en la fila superior de la pantalla, se programa el tiempo de medición y se procede a la misma.

Una vez que se completa la toma de datos, se graba el espectro.

Para procesar el espectro grabado, se sale del programa y se corre otro llamado ECLIWIN. El mismo presenta la lista de espectros de extensión .mca grabados en el directorio C\Windows\S100\ que pueden cargarse. El programa arroja un listado de picos encontrados, intensidad de los mismos y actividad de los radionucleidos a que corresponden. Es necesario tener cargadas de antemano las curvas de calibración en energía y en eficiencia.

Medición de I 131 en tiroides

El equipamiento consta de:

- Detector NaI(Tl) 2" x 2" BICRON con base de pre CANBERRA mod. 2007P
- Fuente de alta tensión CANBERRA mod. 3002
- Amplificador CANBERRA mod. 2011
- Mixer Router CANBERRA mod. 1520
- P.C. con placa multicanal CANBERRA mod. SYSTEM 100

La alta tensión del detector es de 1000 V. La señal del amplificador se conecta a la entrada nro.2 del Mixer Router, el cual está configurado en 16 entradas, 16 K de memoria y 1 K de ganancia.

Una vez en sistema Windows 3.1, se corre el programa de toma de espectros MCA-S100. Se configuran también por soft los valores de 16 K de memoria y de 1 K de ganancia, con 1024 canales para cada entrada.

Mediante el menú que aparece en la fila superior de la pantalla, se programan el canal (o sea el detector), el tiempo de medición, y se procede a la misma.

Una vez que se completa la toma de datos, se graba el espectro. El sistema está calibrado y configurado para directamente mostrar en el espectro, el área de interés en donde aparece el pico correspondiente a los 364 keV del I 131. Con la medida de la integral total en esa área, restada del fondo, se calcula la actividad en tiroides.

CALIBRACIONES

Para estar en condiciones de realizar las mediciones que conducen a los resultados buscados, hay que efectuar en primer lugar la calibración en energías de los diferentes detectores que conforman al sistema. Luego, se realiza la calibración en eficiencia utilizando los fantomas con contaminaciones conocidas. También se realiza la medición de personas y de los fantomas sin contaminación para establecer los valores de fondo del sistema, que son necesarios para el cálculo de los límites de detección.

Calibración en energías con fuentes puntuales

1. Se coloca una fuente puntual a 15 cm del detector.
2. Se realiza la toma de datos mediante el software del sistema en cuestión.
3. Se utiliza la subrutina de calibración en energías, introduciendo los valores correspondientes de canal y energía.

Calibración en eficiencia

Con fantoma BOMAB: Este fantoma es utilizado para calibrar en eficiencia los sistemas de mediciones rutinarias (geometría silla, cuerpo entero) del recinto pequeño, el detector de GeHp 100% del recinto grande (geometría silla, cuerpo entero) y el sistema de Silla Portátil en las simulaciones de contaminación homogénea de cuerpo entero, tórax o abdomen.

Para evitar que la meseta Compton de los espectros interfiera en las mediciones, el llenado del fantoma con los diferentes radionucleidos se realiza en orden de energías de fotopico crecientes, y se mide las características de un radionucleido por vez.

Una vez colocado el fantoma, se procede a la toma de datos (espectro) por un tiempo determinado.

Se mide el valor del área del fotopico, y teniendo en cuenta los valores de tiempo de medición, emisividad del radionucleido en esa energía y actividad colocada, se calcula el valor de la eficiencia para esa energía.

Con los valores de eficiencia para cada energía, se introduce por software la curva de calibración en eficiencia.

Con fantoma LIVERMORE: Este fantoma es utilizado para calibrar en eficiencia el sistema ACT-II de Canberra para monitoreo de actínidos en pulmones.

Se coloca el fantoma con pulmones contaminados con diferentes radionucleidos.

Se realiza la toma de datos obteniendo los cuatro espectros de medición (uno por cada detector).

Se suman los cuatro espectros.

Se determinan por software las áreas de los picos que aparecen en el espectro, con las cuales se calcula la eficiencia para cada energía.

Así, se introduce luego la curva de calibración.

Lo mismo se repite para diferentes espesores de tejido equivalente, para finalmente obtener la eficiencia del sistema en función de la energía y del espesor de tejido.

1. VIAL DE CENTELLEO CON CÁNULA PARA Ra 226

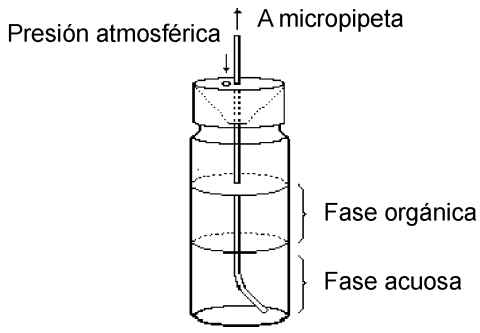


Figura 1. Vial de centelleo

2. COLUMNAS DE VIDRIO PARA INTERCAMBIO IÓNICO

Construidas en vidrio borosilicato. Las columnas se rellenan con resinas de intercambio iónico. Se emplea lana de vidrio en la parte inferior, para retener la resina y en la parte superior para evitar la resuspensión de la misma. El capilar es de polietileno flexible de 1 mm de diámetro interior y en el extremo superior está recubierto por un capilar de vidrio con forma de gancho, que permite dirigir y colgar el capilar en el vaso de precipitados o en la columna cuando no se use. La ventaja de contar con un vástago capilar de polietileno es su flexibilidad que permite la regulación de la velocidad de goteo, mediante la variación de la altura del capilar.

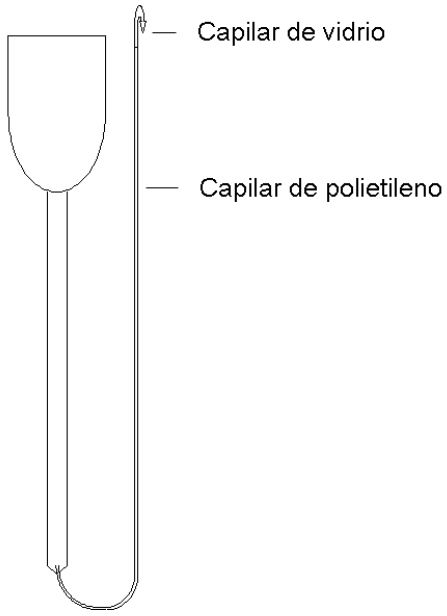


Figura 2

3. FRASCO DE CENTELLEO - MÉTODO DE LUCAS

Se fabrican en vidrio borosilicato transparente, sin imperfecciones en su base. La base es circular de 6 cm de diámetro y su tapa es de 3 cm de diámetro.

El ángulo de abertura de la botella es 130° lo que permite que la eficiencia de centelleo sea óptima. Las botellas están impregnadas en su interior, mediante silicona, con polvo de ZnS (Ag) como centellador. Luego se pintan con pintura blanca por fuera y se les coloca cinta aisladora de color negro para minimizar los efectos de la luz.

El volumen de esta botella es de aproximadamente 130 mL.

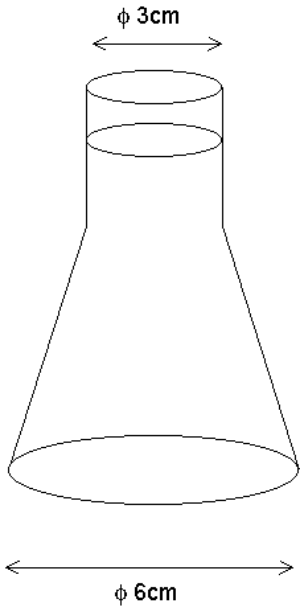


Figura 3

4. EQUIPO LUDLUM 2200

El equipo está formado por dos módulos:

1. Frasco para contaje de radón modelo 182 de la marca Ludlum™ con las siguientes características:

- Tamaño de la muestra: como máximo 7,6 cm de diámetro x 18,5 cm de grosor.
- Diámetro del tubo fotomultiplicador: 5,1 cm.
- Voltaje: 500-1200 volt.
- Conector: serie c.
- Construcción: Aluminio recubierto con poliuretano negro por dentro y fuera.
- Peso: 4,5 kg.
- Instrumentos compatibles: modelos 1000, 2000, 2200, 2221 y otros.

2. Escalímetro (ratemeter) modelo 2200 de la marca Ludlum™ con las siguientes características:

- Escala: display de seis dígitos con un rango de 0-999999 cuentas.
- Timer: 0-99 minutos, con divisiones selectivas de operación *0,1-*1-*10 ó FXT timing manual.

- Ratemeter:0-500 000 cuentas por minuto.
- Alto voltaje: 200-2500 volt.
- Umbral: sensibilidad al voltaje ajustable de 1 a 10.
- Ventana: ajustable de 0 a 10 por encima del umbral (puede ser activado o desactivado)
- Salida de datos: un conector de 15 pin que permita conectarse a una impresora o interfase de software.
- Alimentación. Corriente de 220 volt y 50-60 Hertz que permita el funcionamiento con baterías, duración mínima de 20 horas.
- Dependencia de las baterías: las lecturas con baterías no deben variar más del 3% cuando las mismas se están agotando.
- Peso: aproximadamente 4 kg.

5. DISPOSITIVO UTILIZADO PARA MEDIR LA CONCENTRACIÓN DE RADÓN EN AIRE

El dispositivo utilizado para medir la concentración de radón en aire está constituido por un vial de vidrio, de bajo contenido de K 40, de 20 mL de volumen.

En él, se colocan 2 g de carbón activado tipo Norit RKJ 1, una barrera difusora de 1 cm de espesor de espuma de poliuretano y, sobre ésta, 5 g de gel de sílice, para el control de la humedad. Previamente el gel de sílice y el carbón activado son desecados en estufa a 120°C, durante 3 horas.



Figura 4

6. SISTEMA E-PERM PARA MEDICIÓN DE RADÓN: ELECTRET

DISPOSITIVO

El electret usado en el Sistema E-PERM es un disco de Teflon (Du Pont™) el cual ha sido eléctricamente cargado por un proceso especial para que retenga la carga permanentemente. El disco electret es asegurado en un sostén de plástico conductor que se coloca en la base de la cámara conductora E-PERM. El electret produce un campo electrostático dentro de la cámara capaz de atraer iones de carga opuesta generados por el decaimiento del radón y sus hijas dentro de la cámara. La superficie cargada es neutralizada por la colección de iones, y el voltaje superficial del electret disminuye proporcionalmente cuando estos iones se colectan sobre el electret.

El voltaje superficial del electret es determinado, antes y después de la exposición, mediante el lector. El cambio en el voltaje superficial durante un período de exposición conocido, es la medición integrada en el tiempo de la concentración de radón en la cámara E-PERM durante ese

período. Las especificaciones y el uso de este instrumento, conocido como el SPER-1 se describe a continuación.

INSTRUCCIONES DE MANEJO Y LECTURA DEL LECTOR DE VOLTAJE (SPER-1)

El SPER-1 (Surface Potential Electrect Voltage Reader) es un voltímetro de alta precisión. Debe manejarse con cuidado. Posee una caja portátil con un desecante en el fondo. Cuando el equipo no se encuentra en uso, debe guardarse dentro de ella.

El SPER-1 no necesita calibración. La estabilidad del voltaje de respuesta debe ser chequeada utilizando electrets de referencia.

Procedimiento de lectura

(no es necesario sacar el instrumento de su caja para realizar la medición)

1. Colocar el electret boca abajo dentro del receptáculo circular en la parte superior del SPER-1.
2. Rotar el electret hasta que su número de serie se encuentre exactamente paralelo con el nombre Rad Elec Inc. sobre el lector.
3. Asegurarse de que el electret haga contacto con el borde del receptáculo; empujar hacia el fondo tanto como lo permita el instrumento.
4. Girar la perilla del obturador y luego soltarla, para encender el lector. Ignorar la lectura que aparece en el panel en ese momento.
5. Girar nuevamente la perilla y mantenerla en esa posición por cinco segundos antes de liberarla. Ahora el lector está leyendo el voltaje del electret.
6. Repetir el paso 5. Si el voltaje leído es diferente al anterior, repetir la lectura hasta que al menos el resultado sea el mismo dos veces seguidas. Este valor repetido es el voltaje correcto del electret.
7. El lector se apaga automáticamente después de dos minutos de no ser usado.
8. Después de completar las lecturas, cerrar la caja del lector para que el desecante pueda secar el aire interior.

Principios de la medición

Las Figuras 5 y 6 representan un E-PERM, mostrando el principio por el cual mide radón.

La Figura 5 muestra una cámara estándar (o cámara S) en la posición cerrada. Cuando la tapa superior se encuentra enroscada totalmente, el electret está cubierto y no puede atraer iones generados por la radiación dentro de la cámara. Cuando se desenrosca la tapa, un resorte que se halla debajo, libera la cubierta del electret dejándolo expuesto al volumen de la cámara. El campo electrostático que produce el electret cubre toda la cámara y atrae los iones generados por el decaimiento del radón. La Figura 6, muestra una cámara S abierta.

Sólo el gas radón (no la progenie presente en el aire) difunde a través del filtro en la entrada hacia el interior de la cámara, hasta que la concentración del radón dentro de la cámara es la misma que la del exterior. La radiación emitida por decaimiento del radón y su progenie formada en el interior de la cámara, ioniza el aire. El electret cargado positivamente atrae los iones negativos generados por la radiación en la cámara, resultando en una disminución del voltaje del electret. Los iones positivos se dirigen a la pared de la cámara y se disipan. Esta disminución del voltaje del electret es proporcional a la concentración de radón y al tiempo de exposi-

ción. La caída de voltaje del electret es una medida del producto de la concentración de radón y del tiempo de exposición dado en $pCi.L^{-1}.día^{-1}$.

La medición de radón siempre involucra dos lecturas del electret: una inicial (I) antes de la exposición y otra final (F) después de la exposición. La diferencia de voltaje (I-F) y el tiempo de exposición (D) pueden ser luego convertidos en concentración de radón usando un factor de calibración experimental para cada combinación electret-cámara.

CAMARA "S" E-PERM

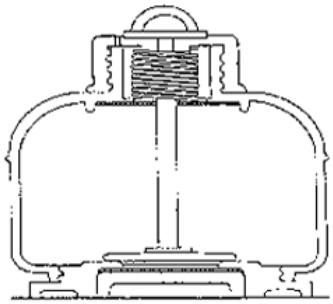


Figura 5. Cerrada

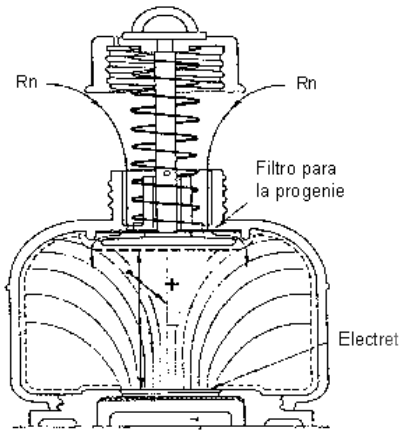


Figura 6. Abierta

7. SISTEMA PARA MEDICIÓN DE RADÓN EN AGUA: ELECTRET

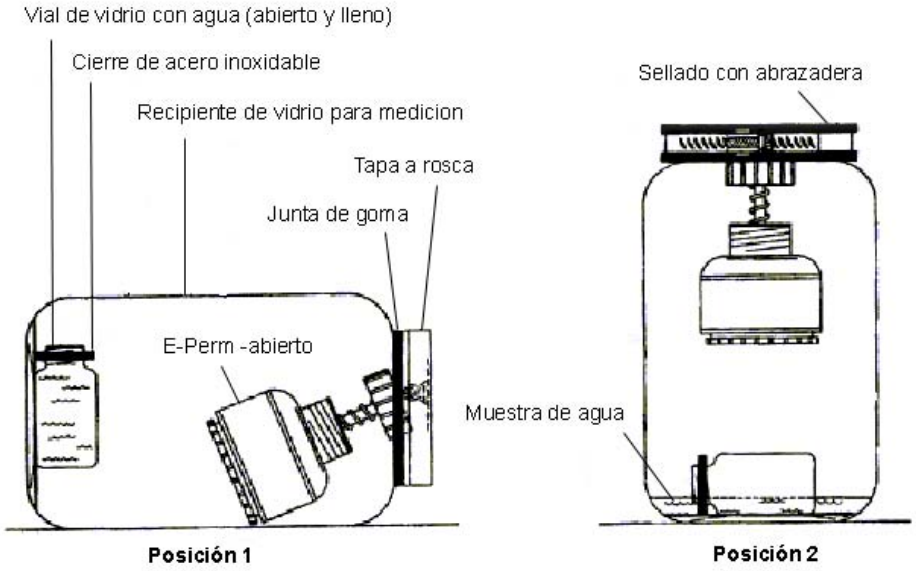


Figura 7

8. MONITORES DE RADÓN CON DETECTORES DE MAKROFOL Y DISPOSITIVOS ASOCIADOS

El sistema está formado por 11 placas de acrílico y 10 placas de PVC soft. Los detectores (hojas de Makrofol) se exponen ante los distintos ambientes a monitorear ya sea, formando parte de diferentes dispositivos o "al desnudo". Los dispositivos que se utilizan son envases de plástico con una geometría adecuada, que contienen papeles de filtro que evitan el ingreso de la progenie del radón dentro del dispositivo. Detectores "al desnudo" se exponen en paralelo con dichos dispositivos y de esta manera se calcula el factor de equilibrio de un ambiente. Los detectores son calibrados en la cámara de referencia que posee el laboratorio de 1 m^3 de volumen. Una vez finalizado el tiempo de exposición los detectores son revelados por un sistema de electro-etching con soluciones básicas fuertes.

DISPOSITIVO PARA REVELADO (CELDAS DE ELECTROETCHING)

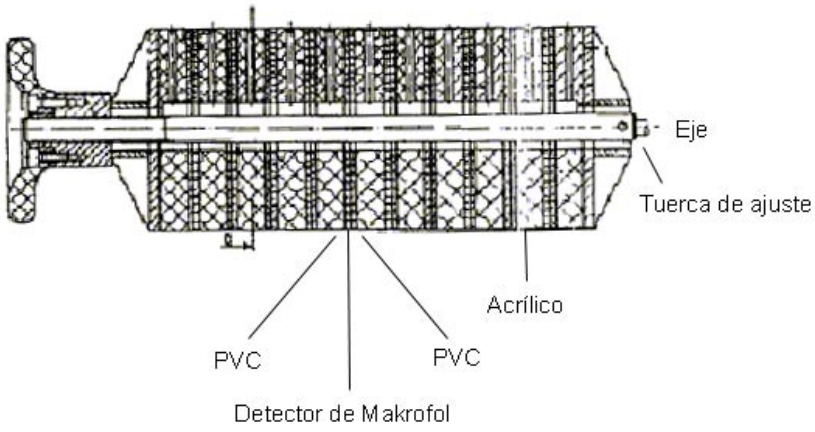


Figura 8. Dispositivo de revelado

MONITORES

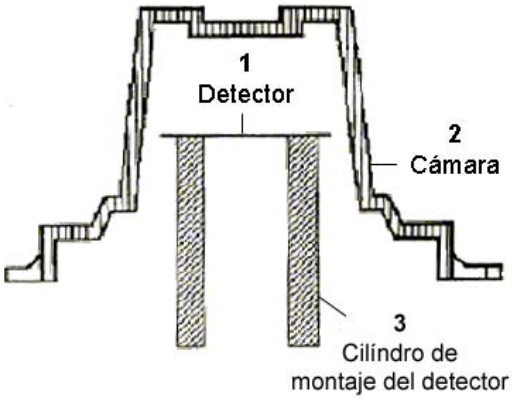


Figura 9. Fijación del detector en la cámara

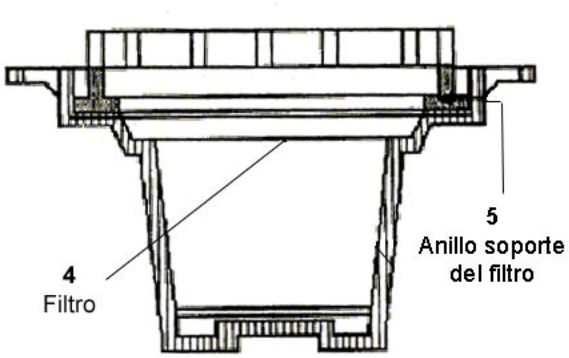


Figura 10. Cerrado de la cámara usando un filtro

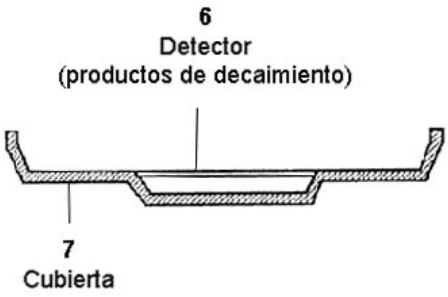


Figura 11. Fijación del segundo detector (productos de decaimiento del radón)

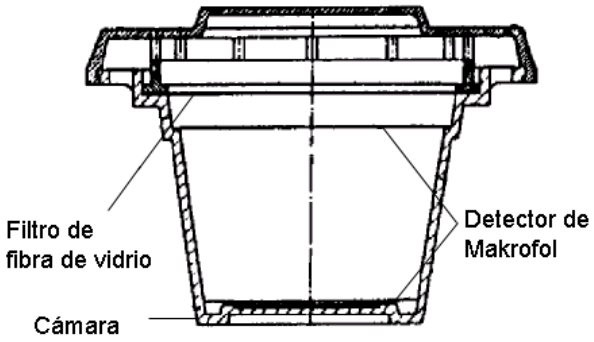


Figura 12. Instrumento listo para usar

9. BOMBAS PARR

Construidas en Teflon™. De 75 ml de capacidad total. El volumen de ácidos usado para la disolución no debe superar los 50 mL. Para evitar la pérdida de ácidos durante el calentamiento, es conveniente emplear O'Rings de silicona o de vitón; en su defecto se puede aplicar cinta de Teflon™ en la rosca.

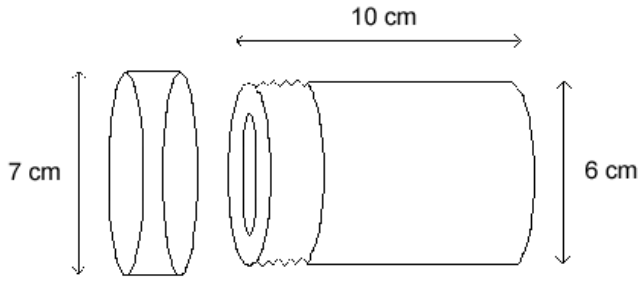


Figura 13

10. CELDAS PARA ELECTRODEPOSICIÓN

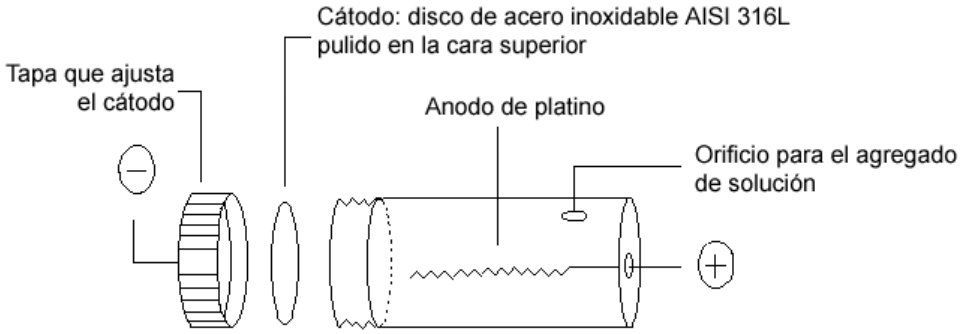


Figura 14. Vial de centelleo

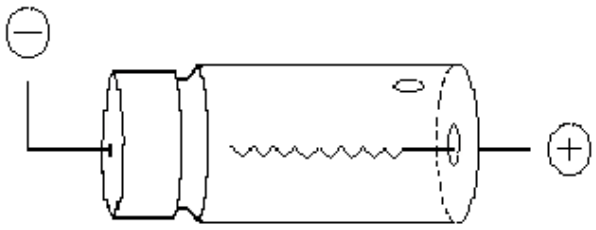


Figura 15

11. HORNO DE FUSIÓN PARA FLUORIMETRÍA

Especialmente diseñado para las fusiones con fluoruro de sodio en cazoletas de platino. Este proceso se aplica en la técnica de fluorimetría para la determinación de uranio.

El equipo consiste en 12 mecheros tipo Tyrrell, fijados a una base y conectados a una tubería circular para el suministro de gas natural. La cruz está construida con planchas gruesas de acero inoxidable, para evitar la deformación por calor, soldadas a una pieza central de acero inoxidable. Está ajustada al eje principal mediante tuercas y arandelas. Cada brazo de la cruz posee en su extremo externo dos (2) orificios (ver dibujos) a través de los cuales pasan los dos alambres de Kanthall que sostienen las cazoletas de platino. La distancia entre los orificios es ligeramente inferior al diámetro de las cazoletas. El eje y la cruz giran a 6 vueltas por minuto, por medio de un motor instalado en la parte inferior de la base.

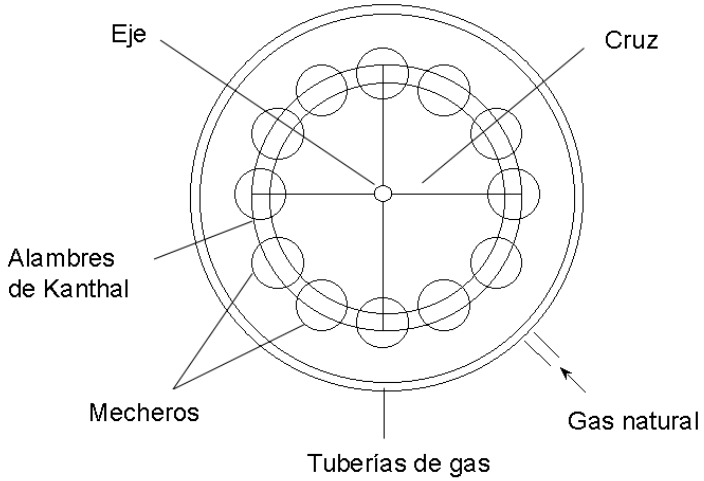


Figura 16. Vista superior

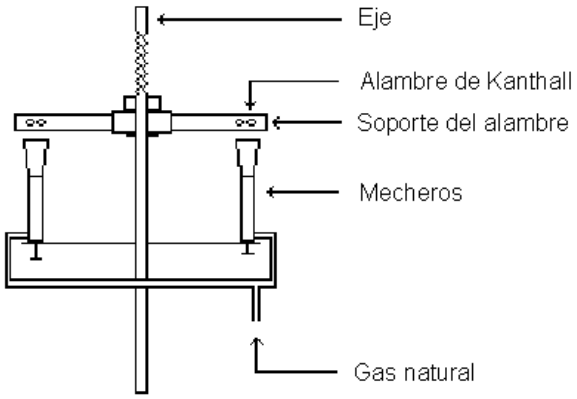


Figura 17. Vista lateral

12. EQUIPO DE CENTELLEO LÍQUIDO: PACKARD TRI-CARB 2770 TR/SL

Este modelo cuenta con discriminación alfa-beta.

Contaje Super Low Level: para muestras con actividad beta extremadamente baja.

Dimensiones

- Altura 19´´ (48 cm)
- Ancho 40,6´´ (103 cm)
- Profundidad 32,36´´ (82 cm)
- Peso 470 lbs (214 kg) [515 lbs (234 kg) con refrigeración)]

Debe disponerse de un espacio adecuado para la computadora, el monitor y la impresora.

Requerimientos eléctricos

	Instrumento		Unidad refrigerada	
Voltaje	60 Hz	50Hz	60Hz	50Hz
Amperaje	100-130	200-240	117	240
Potencia (watt)	500	500	500	500

Temperatura ambiente Requerida para la operación 15°C-35°C

Humedad relativa Requerida para la operación 30-85%

Detectores Los detectores son dos fotomultiplicadores diametralmente opuestos de alta performance acoplados a una cámara óptica reflectora.

Blindaje Como mínimo 2´´ de plomo

Rango de energía 0-200 keV

Control del sistema El sistema es controlado por una computadora compatible-AT. La computadora contiene una interfase RS 232, una impresora paralela y un adaptador para gráficos para monitor color.

13. EQUIPO DE CENTELLEO LÍQUIDO: PACKARD TRI-CARB 2550 TR/SL

Este equipo fue modificado para operar también con discriminación alfa-beta.

Dimensiones

- Altura 18´´ (46 cm)
- Ancho 39,5´´ (100 cm)
- Profundidad 31,5´´ (80 cm)
- Peso 470 lbs (214 kg) [515 lbs (234 kg)] con refrigeración]

Requerimientos eléctricos

- 117 VAC ± 10%, 50/60 Hz, protección de 20 amp.
- 220 VAC ± 10 %, 50/60 Hz, protección de 10 amp.

Temperatura ambiente Requerida para la operación 15°C-35°C

Humedad relativa Requerida para la operación 30-85%

Detectores Los detectores son dos fotomultiplicadores diametralmente opuestos de alta performance acoplados a una cámara óptica reflectora.

Blindaje Como mínimo 2´´ de plomo

Rango de energía 0-200 keV

Control del sistema El sistema es controlado por una computadora compatible-AT. La computadora contiene una interfase RS 232, una impresora paralela y un adaptador para gráficos para monitor color.

14. EQUIPO DE CENTELLEO LÍQUIDO: PACKARD TRI-CARB 2550 TR/AB

Este modelo cuenta con discriminación alfa-beta.

Dimensiones

- Altura 19´´ (48 cm)
- Ancho 40,6´´ (103 cm)
- Profundidad 32,36´´ (82 cm)
- Peso 470 lbs (214 kg) [515 lbs (234 kg)] con refrigeración)

Debe disponerse de un espacio adecuado para la computadora, el monitor y la impresora.

Requerimientos eléctricos

	Instrumento		**Unidad refrigerada**	
Voltaje	60 Hz	50Hz	60Hz	50Hz
Amperaje	100-130	200-240	117	240
Potencia (watt)	500	500	500	500

Temperatura ambiente Requerida para la operación 15°C-35°C

Humedad relativa Requerida para la operación 30-85%

Detectores Los detectores son dos fotomultiplicadores diametralmente opuestos de alta performance acoplados a una cámara óptica reflectora.

Blindaje Como mínimo 2´´ de plomo

Rango de energía 0-200 keV

Control del sistema El sistema es controlado por una computadora compatible-AT. La computadora contiene una interfase RS 232, una impresora paralela y un adaptador para gráficos para monitor color.

15. DETECTOR DE GERMANIO HIPERPURO

Modelo del detector GC6020

Modelo del criostato 7500 SL /ULB

Modelo del preamplificador 2002 CSL

Eficiencia relativa 60%

Resolución 2,0 keV (FWHM) en 1,33 MeV

Características físicas

- Diámetro 70 mm
- Largo 65 mm
- Distancia desde la ventana 5 mm

Características eléctricas

- Caída de voltaje (+) 2000 D dc
- Voltaje recomendado (+) 3500 V dc
- Capacitancia recomendada ~ 16 Pf

Cool Down Time 6 horas

Velocidad de consumición de nitrógeno líquido en el criostato < 1,8 litros/día

16. CELDAS ELECTROLÍTICAS PARA TRITIO

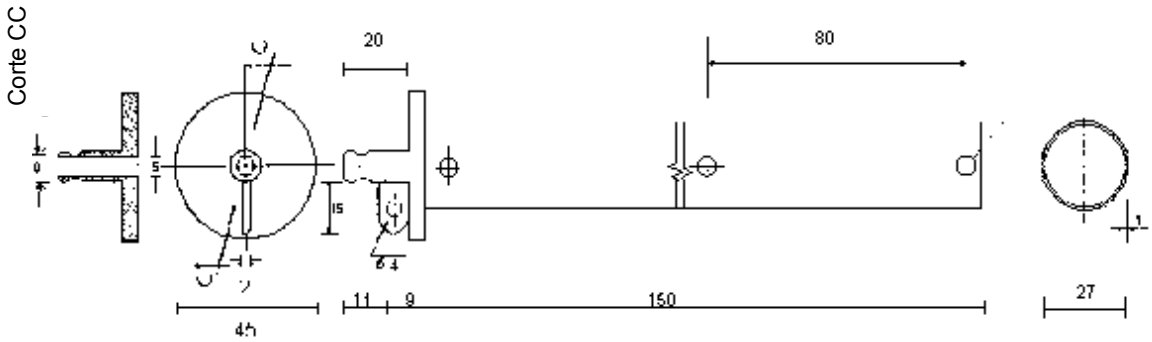


Figura 18. Cátodo de hierro “dulce”

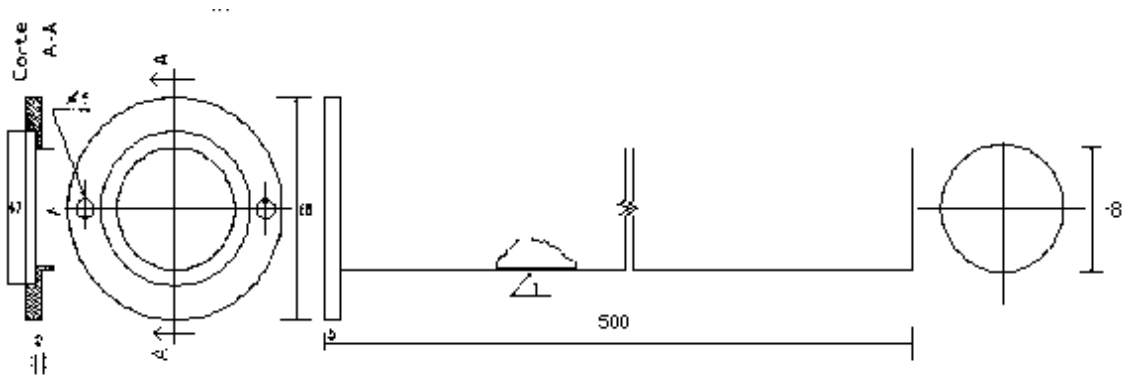


Figura 19. Ánodo de acero inoxidable 316

17. EQUIPO MUESTREADOR O´VERHOFF (MODIFICADO)

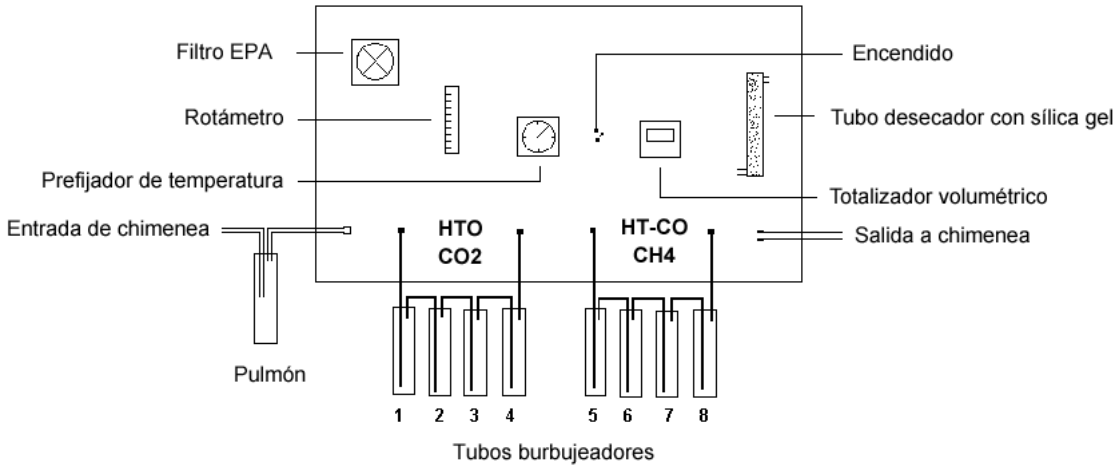


Figura 20

18. SISTEMA DESTILADOR DE MUESTRAS PARA C 14

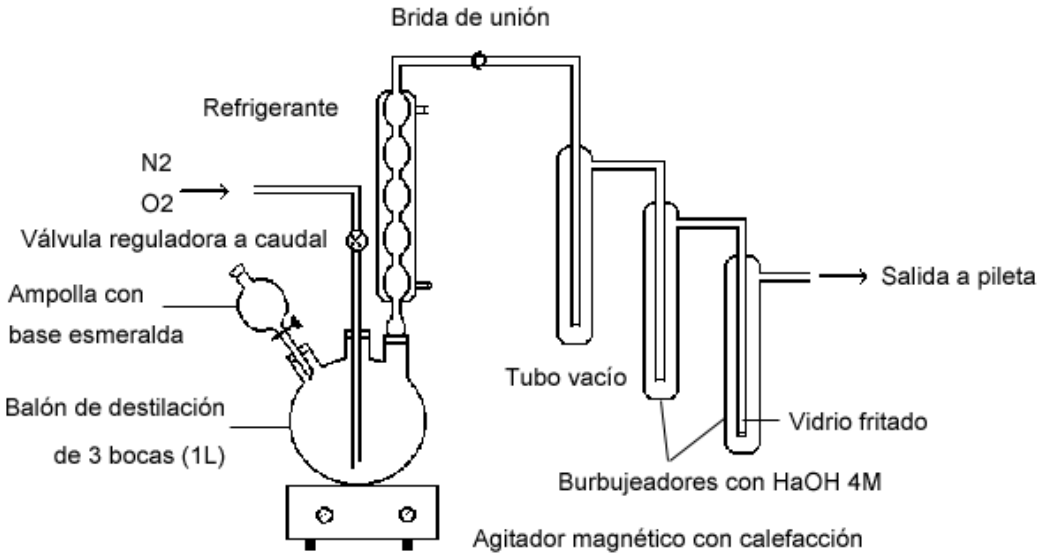


Figura 21

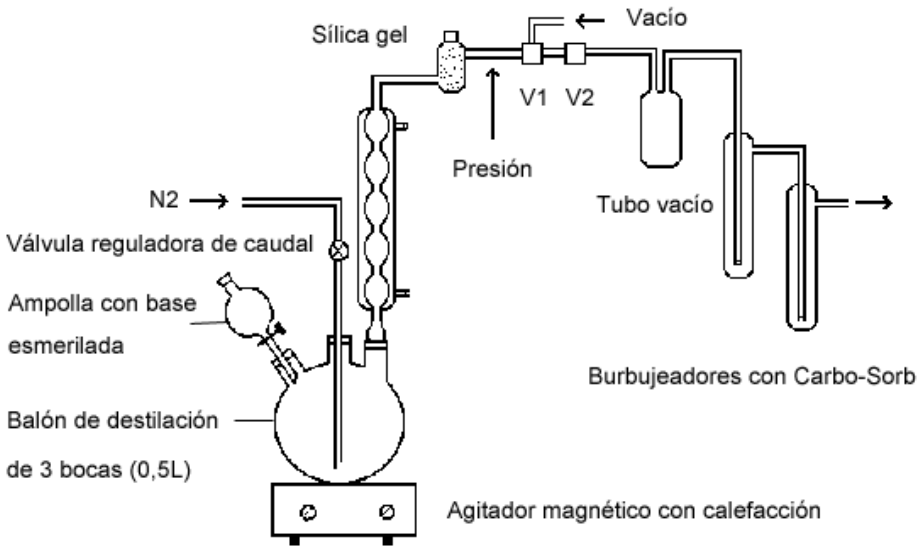


Figura 22

19. EQUIPO 1 UTILIZADO EN EL PROCEDIMIENTO I-01

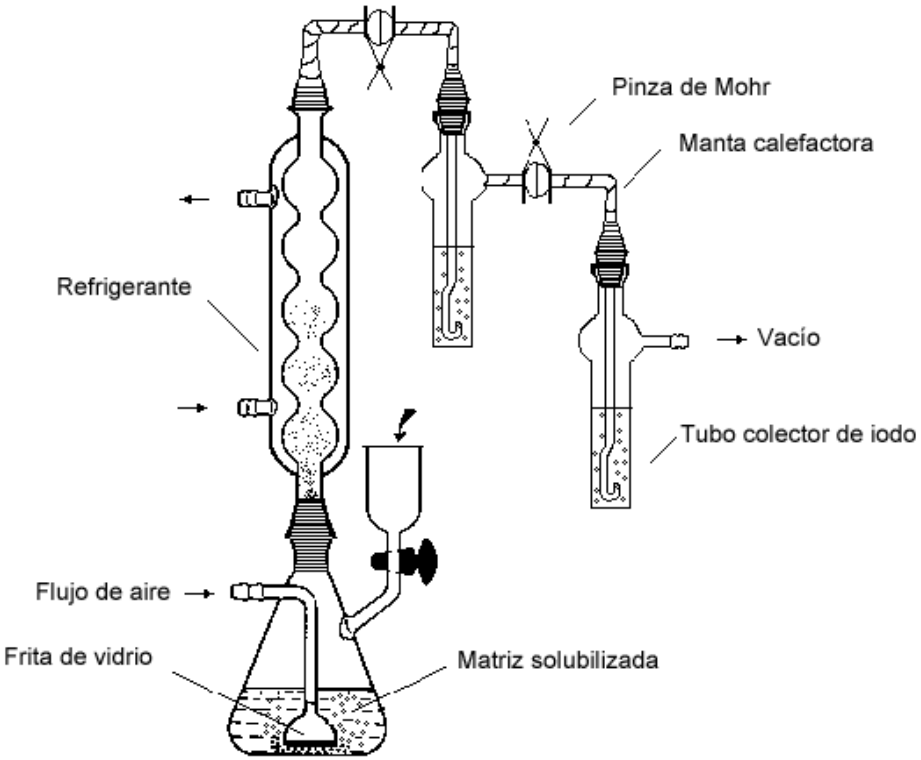


Figura 23

20. EQUIPO 2 UTILIZADO EN EL PROCEDIMIENTO I-01

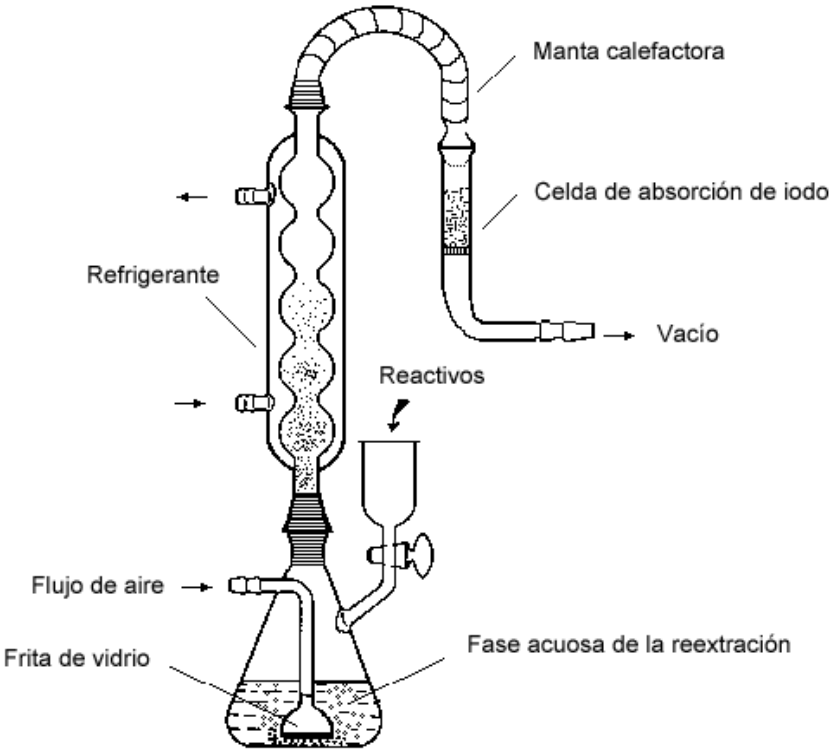


Figura 24

21. EQUIPO REFRIGERANTE LAUDA RM 6B

Rango de temperatura	(°C)-20…100
Rango de temperatura ambiente	(°C) 5…40
Capacidad del calentador	(kW) 1,5
Velocidad de flujo	(l/min) 8
Presión de descarga	(bar) 0,15
Conectores de bomba	Olivas de 10 mm de diámetro
Volumen de llenado	(l) 4…6
Dimensiones de la tapa	(mm) 150 x 130
Profundidad del baño	(mm) 160
Profundidad del líquido	(mm) 140
Altura al borde superior del baño	(mm) 400
Dimensiones totales	ancho x profundidad x altura (mm) 200 x 350 x 550
Power Supply	(V; Hz) 230;50 / 230;60
Consumo total	(kW) 1,8

C A P Í T U L O 5

LABORATORIOS DE DOSIMETRÍA BIOLÓGICA

1. EVALUACIÓN POR DOSIMETRÍA BIOLÓGICA

Dicéntricos y anillos (DB – 01)

ANALITO: ABERRACIONES CROMOSÓMICAS INESTABLES (dicéntricos y anillos)

TÉCNICA: CITOGENÉTICA CONVENCIONAL

MATRIZ: LINFOCITOS DE SANGRE PERIFÉRICA

LÍMITE DE DETECCIÓN: 0,1 Gy PARA RADIACIÓN DE BAJA LET Y 0,05 Gy PARA RADIACIÓN DE ALTA LET

APLICACIÓN

Esta metodología permite estimar la dosis absorbida, mediante la cuantificación de aberraciones cromosómicas inestables (dicéntricos y anillos), de personas presunta o confirmadamente sobreexpuestas a las radiaciones ionizantes, a partir de muestras de sangre venosa. Se aplica principalmente en la evaluación dosimétrica inmediata de situaciones de sobreexposición aguda, a todo o gran parte del cuerpo, por irradiación externa y/o contaminación interna con radionucleidos de distribución uniforme en el organismo tales como Cs 137 y H 3.

La técnica citogenética convencional permite estimar la dosis equivalente aguda a todo el cuerpo, y puede ser modificada para estimar la dosis en las exposiciones inhomogéneas.

Para la dosimetría de las exposiciones inhomogéneas se realizan análisis estadístico-matemáticos de los datos de aberraciones cromosómicas que no sigan la distribución de Poisson, para radiación de bajo LET, a fin de estimar la dosis media en la fracción del cuerpo irradiado y el tamaño de dicha fracción, aplicando para ello el método de Dolphin o el método de Qdr de Sasaki a partir de la frecuencia observada de dicéntricos y anillos en cultivos de linfocitos de sangre periférica.

A partir de muestras de sangre periférica se desarrollan cultivos de linfocitos estimulados, in vitro, a proliferación mitótica con fitohemaglutinina durante un tiempo de cultivo de alrededor de 48 horas. A las 45 a 46 horas de cultivo se agrega colchicina, agente inhibidor de la mitosis, a fin de detener las células en división en metafase. A las 48 horas de incubación, las células son colectadas por centrifugación y tratadas con solución hipotónica. La fijación se realiza con metanol:acético. Se preparan los extendidos, se colorean con Giemsa y visualizan con microscopio óptico.

Dado que el 50% de los dicéntricos se pierden durante la primera división celular post-irradiación, su frecuencia será subestimada en todo análisis cuantitativo que no utilice exclusivamente metafases en su primer ciclo de división. Esta fuente de error es eliminada utilizando la técnica de Fluorescencia plus Giemsa (FPG), agregando a los cultivos 5-bromodeoxiuridina, ya que permite una perfecta discriminación entre las metafases en el primer y posteriores ciclos de división.

EQUIPAMIENTO

- Balanza de precisión
- Flujo laminar
- Estufa de cultivo gaseada
- Freezer
- Estufa de secado
- Microscopio óptico
- Lámpara UV
- Centrífugas

TOMA DE LA MUESTRA

1. Extraer 5 mL a 10 mL de sangre venosa con jeringa descartable de 10 mL (esterilizada por radiación gamma) previamente heparinizada en todas sus paredes con heparina sódica (ABBOT 5000 U/mL; 0,5 mL), también puede usarse heparina de litio. No usar EDTA. Descartar el exceso de heparina y cambiar la aguja utilizada para la heparinización por una estéril, para realizar la extracción. Cambiar la aguja utilizada inmediatamente después de la extracción, por una nueva aguja estéril.
2. Rotular la jeringa con: nombre, fecha y hora de extracción
3. Preservación de la muestra:

Hasta 24 horas, mantener la muestra a temperatura ambiente.

Para tiempos mayores (hasta 2-4 días), guardarla a 4-10°C.
En caso de transporte de la muestra:

- Utilizar conservadores de frío (no usar hielo para evitar que, al descongelarse, la jeringa quede en contacto con el agua). NO CONGELAR
- Sujetar con cinta adhesiva el capuchón de la aguja a la jeringa de extracción y el émbolo al cuerpo de la jeringa.
- Si las muestras son transportadas por avión, no deben ser expuestas a los rayos x del chequeo de seguridad.

PREPARACIÓN DEL CULTIVO

1.	Sangre entera	0,5 – 0,8 mL
2.	RPMI 1640 ó MEM con sales de Hanks's (Gibco) *	
3.	pH ajustado de acuerdo a las condiciones de incubación	8,0 mL
4.	Suero Bovino Fetal certificado (Gibco)	2,0 mL – 2,5 mL
5.	PHA-M (Gibco) (resuspendida en 10 mL)	200 – 250 µL **
6.	BrdU (Sigma)	6 µg/mL ***

* Suplementado con L- glutamina 1% (Gibco) y Penicilina / Estreptomicina 1% (Gibco), según las condiciones de trabajo

** cada 10 mL de Vol. final de cultivo
2 a 4 puede ser reemplazado por 10 mL de PB MAX (Gibco) Cat. 10386-035

*** concentración final, a partir de una solución 2mg/mL

INCUBACIÓN

48 horas a 37°C (con CO_2 al 5%).

A las 45 a 46 horas de cultivo agregar colchicina (Merck) 0,15 – 0,20µg/mL

concentración final, a partir de una solución 100µg/mL

COSECHA

1. Centrifugar a 2000 rpm durante 15 minutos
2. Tratamiento hipotónico: 5 mL de ClK 0,075M durante 10 minutos a 37°C.
3. Detención del tratamiento hipotónico: agregar 0,5 mL de fijador Carnoy *
4. Homogeneizar y centrifugar a 2000 rpm durante 15 minutos.
5. Descartar el sobrenadante y agregar 5 mL de fijador Carnoy. Resuspender y dejar 15 minutos a temperatura ambiente.
6. Centrifugar a 2000 rpm durante 15 minutos.
7. Descartar sobrenadante y agregar 5 mL de fijador Carnoy. Resuspender.
8. Centrifugar a 2000 rpm durante 15 minutos. Resuspender el pellet final en 0,25 - 0,5 mL. (Si fuera necesario un mejor lavado, repetir 7 y 8).
9. Dejar caer 2 a 4 gotas en portaobjetos limpios y desengrasados.

Si se desea guardar una fracción del pellet: colocar el pellet restante en tubo eppendorf, centrifugar 15 minutos a 10000 rpm, descartar el sobrenadante, agregar 1 mL de metanol, homogeneizar y guardar a -20°C.

* Fijador Carnoy: 3 partes de metanol (Merck) y 1 parte de ácido acético glacial (Merck)

COLORACIÓN

1. Secar los portaobjetos a 37°C.
2. Colorear con Solución Giemsa (Merck) al 10% en buffer Sorensen * pH 6,8.
3. Secar al aire.

* Buffer Sorensen: 2 partes de KH_2PO_4 0,067 M y 1 parte de Na_2HPO_4 0,067 M

Fluorescencia plus Giemsa (FPG)

1. Colorear con Hoescht 33258 (5µg/mL): 1 mL de solución madre Hoechst (0,5 mg/mL) en 100 mL de agua destilada, dejar 20 minutos en oscuridad.
2. Enjuagar con agua destilada, secar bien (secador – aire frío).
3. Secar al aire.

4. Colocar 3 ó 4 gotas de buffer McIlvaine * (pH 8) y cubrir con cubreobjetos.
5. Exponer los portaobjetos a UV durante 10 minutos, a 10 cm de la fuente.
6. Quitar el cubreobjetos enjuagando con agua destilada.
7. Secar al aire.
8. Colorear con solución de Giemsa al 2% en buffer Sorensen, durante 10 minutos.
9. Secar al aire.

* Buffer Mc Ilvaine: ácido cítrico 0,1 M (2,1 g/100mL) HNa_2PO_4 0,2 M (35,7 g/1000 mL)

ESTIMACIÓN DE DOSIS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Número de células analizadas

Se analizan 500 metafases en primera división (extendiéndose el recuento a 1000 metafases si existe justificación); ó 100 aberraciones cromosómicas inestables (dicéntricos + anillos, acompañados por su correspondiente fragmento acéntrico).

Curvas de calibración

Las curvas de calibración del Laboratorio fueron ajustadas aplicando un método de cuadrados mínimos repesado iterativo (máxima verosimilitud).

La conformidad con la distribución de Poisson de dicéntricos + anillos en metafases es evaluada utilizando el test “u” de Papworth y la relación varianza-media.

Incertezas en la estimación dosimétrica

La dosis estimada es expresada como dosis media con un intervalo de confianza del 95%. La dosis media es determinada a partir de la frecuencia observada, utilizando la curva de calibración apropiada. Asumiendo una distribución normal, se calculan los límites de confianza del 95% como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de cada uno de los errores estándar (error de Poisson y error de la curva de calibración), transformándolos en las dosis superior e inferior.

Micronúcleos en linfocitos con bloqueo de la citocinesis (DB-02)

ANALITO: ABERRACIONES CROMOSÓMICAS INESTABLES (micronúcleos)	**TÉCNICA:** MICRONÚCLEOS EN CÉLULAS BINUCLEADAS
MATRIZ: LINFOCITOS DE SANGRE PERIFÉRICA	**LÍMITE DE DETECCIÓN:** 0,2 – 0,3 Gy

APLICACIÓN

Esta metodología permite estimar la dosis absorbida, mediante la cuantificación de la frecuencia de micronúcleos en cultivos de linfocitos de sangre periférica estimulados a proliferación mitótica durante un tiempo de cultivo de alrededor de 72 horas (cosechados en su segunda interfase). A las 44 horas de cultivo se agrega citocalasina B a fin de bloquear la citocinesis e identificándose, por su aspecto binucleado, aquéllas células que han llevado a cabo un solo ciclo de división. A las 72 horas de incubación, las células son colectadas por centrifugación y tratadas con solución hipotónica, según método de Iskandar, para lograr la preservación del citoplasma. La fijación se realiza con metanol: acético, se colorea con Giemsa y visualiza al microscopio óptico.

La aplicación de esta técnica permite, por sus condiciones de rápido procesamiento, obtener una estimación inicial de las dosis involucradas en casos de sobreexposiciones agudas recientes a todo o gran parte del cuerpo, siendo particularmente útil en accidentes que involucren gran número de personas. Se utiliza como dosímetro complementario del citogenético convencional.

PREPARACIÓN DEL CULTIVO

Ver DB-01(Pasos 1 a 4).

INCUBACIÓN

72 horas a 37°C (con CO_2 al 5%).

A las 44 horas de incubación agregar Citocalasina B (Sigma) 4,5 μg/ml *

* concentración final, a partir de una solución 2 mg/ml en DMSO

COSECHA

1. Centrifugar a 1500 rpm durante 15 minutos

2. Tratamiento hipotónico: Método de Iskandar (9 partes de NaCl 0,9% w/v y 1 parte de KCl 0,75M - P.O: 285 mosmolar) a temperatura ambiente

3. Fijar inmediatamente con fijador Carnoy

4-8. Repetir el procedimiento del protocolo técnica citogenética convencional, *ver DB-01 (*centrifugando a 1500 rpm.)

9. Distribuir suavemente el pellet con pipeta Pasteur, en forma de zigzag sobre portaobjetos limpios y desengrasados

COLORACIÓN

1. Secar los portaobjetos a 37°C
2. Colorear con Solución Giemsa (Merck) al 5% en buffer Sorensen* pH 6,8
3. Secar al aire

* Buffer Sorensen: 2 partes de KH_2PO_4 0,067 M y 1 parte de Na_2HPO_4 0,067 M

ESTIMACIÓN DE DOSIS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Número de células analizadas

La frecuencia de MN se establece evaluando 500 a 2500 células binucleadas, aplicando los criterios de Fenech, M. (2000) para la identificación de células binucleadas y MN.

Curvas de calibración

Las curvas de calibración del Laboratorio fueron ajustadas aplicando un método de cuadrados mínimos repesado iterativo.

La distribución de micronúcleos en células binucleadas es evaluada utilizando el test “u” de Papworth y la relación varianza-media.

Incertezas en la estimación dosimétrica

La dosis estimada es expresada como dosis media con un intervalo de confianza del 95%. La dosis media es estimada a partir de la frecuencia observada, utilizando la curva de calibración apropiada.

En las curvas de calibración de micronúcleos, el error de los coeficientes y el error de Poisson de las frecuencias observadas son corregidos teniendo en cuenta la sobredispersión en la distribución.

Translocaciones e inversiones (DB-03)

ANALITO: ABERRACIONES CROMOSÓMICAS ESTABLES (translocaciones)

TÉCNICA: BANDEO G E HIBRIDACIÓN IN SITU POR FLUORESCENCIA (FISH)

MATRIZ: LINFOCITOS DE SANGRE PERIFÉRICA

LÍMITE DE DETECCIÓN: 0,3 Gy

APLICACIÓN

Las aberraciones cromosómicas estables, pueden ser identificadas por bandeo G (translocaciones e inversiones) y, actualmente, mediante la técnica de FISH (translocaciones). Representan un indicador adecuado para la evaluación dosimétrica de exposiciones pasadas (dosimetría retrospectiva) o de dosis integrada (exposiciones prolongadas, fraccionadas y ocupacionales).

El bandeo G permite la cuantificación de todas las translocaciones radioinducidas. La técnica de FISH sólo permite la detección de una fracción de las translocaciones, por lo que se requiere la extrapolación de las translocaciones observadas al genoma completo. Este último método permite un recuento más rápido de translocaciones que el bandeo G, aunque requiere la evaluación de un mayor número de células para trabajar con el mismo intervalo de confianza.

A partir de muestras de sangre periférica se desarrollan cultivos de linfocitos estimulados, in vitro, a proliferación mitótica con fitohemaglutinina durante un tiempo de cultivo de alrededor de 48 horas. A las 45 a 46 horas de cultivo se agrega un inhibidor de la mitosis (colchicina) a fin de detener las células en división en metafase. A las 48 horas de incubación, las células son colectadas por centrifugación y tratadas con solución hipotónica. La fijación se realiza con metanol: acético. Se preparan los extendidos y se secan en estufa a 37°C.

Para **bandeo G** los extendidos se tratan con tripsina y luego se colorean con Giemsa. Las observaciones se realizan con microscopio óptico.

Para la **técnica de FISH** los extendidos se secan en estufa a 37°C durante 12 horas como mínimo y se los guarda en el freezer (-20°C).

Se utilizan sondas de ADN directas para “pintar” un par cromosómico o un cóctel, habitualmente constituido por tres pares cromosómicos, cubriendo alrededor del 20% del contenido de ADN genómico total. Mediante la utilización de contracolorantes apropiados para los cromosomas no pintados, las translocaciones son identificadas por su patrón fluorescente bicolor, por lo que sólo una fracción de todas las translocaciones posibles puede ser detectada.

Las observaciones se realizan con microscopio de epifluorescencia con los filtros apropiados para el espectro fluorescente aplicado.

3.1. TÉCNICA DE BANDEO G

PREPARACIÓN DEL CULTIVO, INCUBACIÓN Y COSECHA

Ver DB-01 (Pasos 1 a 4).

TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS PREPARADAS

1. Envejecer los portaobjetos guardándolos por lo menos 1 semana en estufa a 37°C
2. Tratar los portaobjetos con solución de tripsina (Difco 1:250) al 0,025% en solución fisiológica y Na_2PO_4 0,2N (1:1), durante 30 a 90 s a temperatura ambiente
3. Enjuagar con agua destilada
4. Colorear con solución Giemsa al 10% en buffer Sorensen durante 5 minutos
5. Secar al aire. Visualizar con microscopio óptico

3.2 TÉCNICA DE HIBRIDACIÓN IN SITU POR FLUORESCENCIA (FISH)

EQUIPAMIENTO

- Balanza de precisión
- Flujo laminar
- Estufa de cultivo gaseada
- Estufa de secado
- Microscopio de epifluorescencia y set de filtros apropiados (filtro trial DAPI/GREEN/ORANGE - Nikon B2A - Nikon G2A)
- Baño termostatizado
- Microcentrífuga
- Plancha calefactora
- pHmetro
- Freezer - 20 °C

PREPARACIÓN DEL CULTIVO, INCUBACIÓN Y COSECHA

Ver DB-01 (Paso de 1 a 4)

PREPARACIÓN DE REACTIVOS

I. **Solución 20x SSC** (500 ml)

Mezclar, con agitador, 132 g de 20x SSC en 400 ml de agua desionizada; agregar agua desionizada hasta un volumen final de 500 ml. Medir el pH y ajustar a pH =5,3 con HCl (12N). Guardar a temperatura ambiente. Descartar la solución después de 6 meses de preparada, o antes si la solución está contaminada o turbia.

II. 2x SSC (1000 ml)

Mezclar 100 ml de solución 20x SSC (pH 5,3) en 850 ml de agua desionizada. Agitar bien. Agregar agua desionizada hasta un volumen final de 1 l. Medir el pH y ajustar a pH =7,0 ± 0,2 con NaOH (1N). Guardar a temperatura ambiente. Descartar la solución después de 6 meses de preparada, o antes si la solución está contaminada o turbia.

III. 2xSSC / 0.1 NP-40 (1000 ml)

Mezclar 100 ml de solución 20x SSC (pH= 5,3) con 850 ml de agua desionizada. Añadir 1 ml de NP-40. Agregar agua desionizada hasta un volumen final de 1 l. Medir el pH y ajustar a pH =7,0 ± 0,2 con NaOH (1N). Guardar a temperatura ambiente. Descartar la solución después de 6 meses de preparada, o antes si la solución está contaminada o turbia.

IV. Solución de desnaturalización (formamida al 70% / 2x SSC)

Mezclar bien 49 ml de formamida (pasada por resinas de intercambio iónico) * con 7 ml de 20x SSC (pH 5,3) y 14 ml de agua desionizada. Colocar en un coplin con tapa. Verificar que el pH sea 7,0 – 8,0.

V. Formamida de lavado (formamida al 50% / 2x SSC)

Mezclar bien 105 ml de formamida con 21 ml de 20x SSC (pH 5,3) y 84 ml de agua desionizada. Verificar que el pH sea 7,0 – 8,0. Volcar volúmenes iguales en 3 coplin con tapa.

VI. Soluciones de etanol (70%, 85% y 100%)

Preparar diluciones v/v de etanol 100% con agua desionizada.

Las soluciones de trabajo se descartan después de ser utilizadas.

* Formamida (Merck) pasada por resinas de lecho mixto (BIO-RAD, AG501-X8 D); desionización por método en batch: 25 g de resina cada 500 ml de formamida, agitando durante 2 horas

Sondas utilizadas

Sonda mezcla de cromosomas enteros (WCP) para los cromosomas 1,2 y 4; espectro naranja (Vysis)

Sonda de cromosoma entero (WCP) para cromosoma 4, espectro verde (Vysis)

1. Envejecer los vidrios por lo menos 1 semana a -20°C
2. Desnaturalizar los vidrios en formamida al 70% / 2XSSC a 73 ± 1°C durante 1 a 5 minutos
3. Deshidratar los vidrios sumergiéndolos en series de 1 min. de etanol 70%, 85% y 100%. Secar los vidrios protegiéndolos de la luz
4. Preparación de la sonda, cantidad requerida para un área de 22 mm x 22 mm,

   Sonda mezcla (para cromosomas 1, 2 y 4): Mezclar 7µl de buffer de hibridación, 2µl de sonda mezcla y 1µl de agua desionizada en tubo eppendorf a temperatura ambiente

   Sonda para cromosoma 4: Mezclar 7µl de buffer de hibridación, 1µl de sonda cr.4 y 2 µl de agua desionizada en tubo eppendorf a temperatura ambiente

   Centrifugar 1 a 3 segundos, agitar con vórtex y volver a centrifugar
5. Desnaturalizar calentando a 75°C (sonda mezcla) ó 73 ± 1°C (sonda cr.4), en baño de agua durante 5 min. Retirar y colocar sobre plancha calefactora

6. Colocar 10 μl de sonda desnaturalizada sobre el área a hibridar del portaobjetos (previamente colocado en plancha calefactora a 45°C)
7. Colocar un cubreobjetos y sellar los bordes con goma removible
8. Colocar el preparado en caja humidificada y precalentada, a 37°C durante toda la noche
9. Remover el cubreobjetos y lavar en formamida al 50%/2XSSC a 46 ± 1°C (3 lavados de 10 minutos cada uno)
10. Lavar en 2XSSC a 46 ± 1°C durante 10 minutos
11. Lavar en solución NP-40 al 0,1% / 2XSSC a 46 ± 1°C durante 5 minutos
12. Secar al aire
13. Colocar 10 μl de contracolorante (DAPI ó PI) en el área de hibridación
14. Colocar un cubreobjetos y sellar con goma definitiva
15. Observar utilizando microscopio de epifluorescencia (Nikon Optiphot-2) y sets de filtros apropiados (filtro trial DAPI/GREEN/ORANGE – Nikon B2A – Nikon G2A)

ESTIMACIÓN DE DOSIS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La frecuencia de translocaciones observadas (F_p), identificadas mediante la aplicación de la técnica de FISH, es extrapolada al genoma completo (F_G) a partir de la siguiente ecuación:

$$F_p = 2{,}05\, f_p\, (1 - f_p)\, F_G$$

donde

f_p representa la fracción del genoma pintado.

Número de células analizadas

Número de metafases leídas (FISH) x [2,05 f_p (1 - f_p)] = Número de metafases equivalentes

Número de metafases equivalentes es el número de células que debería haberse contado mediante la aplicación de la técnica de bandeo G para trabajar con un dado intervalo de confianza.

Aberraciones cromosómicas

Dependiendo de la técnica aplicada, se identifican: translocaciones e inversiones (bandeo G) y translocaciones (FISH), usando el sistema de nomenclatura ISCN (1995) y PAINT (1995) respectivamente.

Curvas de calibración

Del mismo modo que la biodosimetría convencional, se utilizan curvas de calibración in vitro para bandeo G y para FISH, a fin de estimar la dosis media con un intervalo de confianza apropiado.

Ensayo de Cometa (Electroforesis en gel de células individuales) (DB-04)

ANALITO: RUPTURAS DE SIMPLE CADENA Y DE DOBLE CADENA DEL ADN CELULAR

TÉCNICA: ENSAYO DE COMETA ALCALINO Y NEUTRO

MATRIZ: LINFOCITOS DE SANGRE PERIFÉRICA Y QUERATINOCITOS Y FIBROBLASTOS DE BIOPSIAS DE PIEL

LÍMITE DE DETECCIÓN: 0,05 Gy

APLICACIÓN

En las exposiciones inhomogéneas, características de los accidentes, sistemas de órganos tales como la piel pueden ser importantes en la determinación de la prognosis clínica que conlleva la necesidad de determinaciones dosimétricas. El Ensayo de Cometa o electroforesis en gel de células individuales es un método sensible, rápido y de bajo costo para cuantificar daño en el ADN de células individuales. Requiere células viables, pero no cultivo, por lo que es aplicable a cualquier línea celular o tejido a partir del cual pueda ser obtenida una suspensión de células individuales.

El objetivo del desarrollo del Ensayo de Cometa es disponer de un método para la detección precoz del daño radioinducido en biopsias de piel sin cultivar, a fin de determinar su utilidad como marcador biológico para la evaluación temprana y en un amplio rango de dosis de las consecuencias de las irradiaciones localizadas.

El ensayo puede ser realizado bajo condiciones neutras o alcalinas. Las rupturas de doble cadena del ADN celular son medidas en condiciones neutras y las rupturas de simple cadena, en condiciones alcalinas.

En esta técnica, las células son embebidas en un gel de agarosa en un portaobjetos, sometidas a lisis alcalina o neutra y luego corridas por electroforesis durante un corto tiempo bajo condiciones alcalinas (pH $>$ 13) o neutras (pH=8,4). Las células con mayor daño del ADN muestran una migración aumentada desde el núcleo hacia el ánodo.

EQUIPAMIENTO

- Balanza de precisión
- Cuba de electroforesis horizontal y fuente de alimentación
- Plancha calefactora
- Baño termostatizado
- Microscopio de epifluorescencia con filtro de excitación: 510-560 y filtro barrera de 590

PROTOCOLO PARA LA APLICACIÓN DEL ENSAYO DE COMETA EN LA DETECCIÓN DE DAÑO EN EL ADN DE CÉLULAS DE MAMÍFEROS

Materiales

Dimethylsulfóxido (DMSO)	- Sigma
EDTA disódico	- GIBCO
Bromuro de etidio	- GIBCO
Solución Hanks salada balanceada (libre de Ca^{++}, Mg^{++})	- GIBCO
Buffer fosfato salino (PBS) (libre de Ca^{++}, Mg^{++})	- GIBCO
NaCl	- Sigma
NaOH	- Sigma
Triton X-100	- ICN
Tris	- GIBCO
Portaobjetos esmerilados en un extremo	
Cubreobjetos (24 x 40 mm)	
Agarosa de punto de fusión normal	- GIBCO
Agarosa de bajo punto de fusión (LMP)	- GIBCO

I. Preparación de los reactivos

- **Solución de lisis:** Ingredientes para 1000 ml:

NaCl 2,5 M	146,1 g
EDTA 100mM	37,2 g
Tris 10 mM	1,2 g

  Añadir los ingredientes a aproximadamente 700 ml de H_2O destilada, agitar la mezcla. Agregar ~8 g de NaOH en lentejas, agitando para que se disuelva (alrededor de 20 min). Ajustar el pH a 10,0 utilizando HCl concentrado o NaOH. Llevar a un volumen de 890 ml con H_2O destilada (el Triton X-100 y el DMSO aumentarán el volumen a la cantidad correcta), guardar a 4°C.

  Solución final de lisis: Agregar, frescos, Triton X-100 al 1% y DMSO al 10%, enfriar a 4°C por lo menos 30 minutos antes de colocar los vidrios.

  Nota: no se incluye en esta versión el agregado de lauril sarcocinato de sodio al 1%, que fue utilizado anteriormente.

- **Buffer de electroforesis (NaOH 300 mM / EDTA 1mM):**

  Soluciones stock:
  1. NaOH 10 N (200g/500 ml H_20d)
  2. EDTA 200 mM (14,89 g/200 ml H_2Od, pH 10)

  Guardar a 4°C. Si se guardan a temperatura ambiente, las soluciones stock deben ser renovadas cada 2 semanas. Para preparar buffer 1X (prepararlo fresco antes de cada corrida electroforética): por litro, agregar 30 ml de NaOH y 5,0 mL de EDTA, llevar a 1000 ml, mezclar bien. Controlar que el pH del buffer sea >13.

- **Buffer de neutralización:** Tris 0,4 M - 48,5 g añadidos a ~800 ml H_2Od, ajustar el pH a 7,5 con HCl concentrado: llevar a 1000 ml con H_2Od, guardar a 4°C.

– **Solución de tinción:** Bromuro de etidio (sc. stock - 200 µg/mL): agregar 10 mg en 50 ml de H_2Od, guardar a temperatura ambiente. Solución 1X (20 µg/ml) - mezclar 1 ml con 9 ml de H_2Od.

II. Preparación de las células

Sangre entera: mezclar 5 a 10 µl de sangre con 120 µl de agarosa de bajo punto de fusión.

III. Preparación de los vidrios

Procedimiento

1. Limpiar los portaobjetos, inmediatamente antes de usar, con etanol absoluto.

2. Para la agarosa de base, preparar agarosa de punto de fusión normal al 1,5% (300 mg en 20 ml de PBS), hervir 2 a 3 veces antes de usar. Sumergir, brevemente, en forma vertical los vidrios en la agarosa caliente (80 a 83°C); la agarosa debe llegar hasta la mitad de la parte esmerilada del vidrio para que se fije adecuadamente. Limpiar el exceso de agarosa de la parte posterior del vidrio, colocar en forma horizontal (este paso debe ser realizado en forma rápida para lograr una buena distribución de la agarosa). Dejar secar los vidrios durante toda la noche a temperatura ambiente. Los vidrios pueden ser utilizados durante varias semanas, evitar condiciones de humedad.

3. Preparar agarosa debajo punto de fusión (LMP) al 0,5% (100 mg en 20 ml de PBS). Calentar hasta punto de fusión, fraccionar en alícuotas de 5 ml y mantener refrigerada hasta su uso. Cuando es necesaria, se calienta brevemente hasta punto de fusión y se coloca en baño de agua a 37°C para enfriar y estabilizar la temperatura.

4. Colocar 120 µl de agarosa LMP (37°C) y 5 a 10 µl de células. Cubrir con un portaobjetos (24 x 40 mm) y colocar en bandeja en heladera durante 2 a 5 min.

5. Retirar cuidadosamente el cubreobjetos sumergiendo el vidrio en buffer de lisis frío. Colocar los vidrios en buffer de lisis, manteniendo a 4°C, durante un mínimo de 1 h.

Después de colocar las células en los vidrios y hasta el final de la electroforesis, se debe trabajar a 4ºC y en oscuridad a fin de evitar daño adicional en el ADN.

ELECTROFORESIS DE LOS MICROGELES Y COLORACIÓN

Procedimiento

Nota: El procedimiento que se describe es para electroforesis en condiciones alcalinas.

1. Después de 1 hora a ~4°C, sacar cuidadosamente los vidrios de la solución de lisis. Ubicar los vidrios en la cuba de electroforesis horizontal, colocándolos uno al lado del otro tan próximos como sea posible. (llenar los espacios vacíos con vidrios)

2. Llenar los reservorios con buffer de electroforesis recién preparado (4°C)

3. Dejar equilibrar los vidrios en el buffer de electroforesis durante 25 min. para permitir el desenrrollamiento del ADN y la expresión de los sitios álcali lábiles.

4. Realizar la corrida a 25 V y ajustando la corriente a 300 mA, aumentando o disminuyendo el nivel de buffer, correr durante 25 min.

5. Apagar la fuente de poder. Sacar cuidadosamente los vidrios del buffer, escurrir, y cubrir con buffer de neutralización. Dejar actuar durante 5 min, escurrir y repetir dos veces más.

6. Escurrir los vidrios, sumergirlos brevemente en etanol absoluto frío, dejar secar inclinados. Guardar a temperatura ambiente en ambiente seco.

7. Cuando se requiera, colocar sobre los microgeles ~300-500 µl de solución de tinción de bromuro de etidio 1x, dejar hidratar antes de colocar un cubreobjetos limpio. Realizado el recuento (cuantificación), quitar cuidadosamente el cubre, enjuagar en metanol al 100% para eliminar el colorante, dejar secar y guardar tapado a temperatura ambiente.

Evaluación del daño en el ADN

1. Para la visualización del daño, las observaciones se realizan con objetivo de 20x utilizando un microscopio de epifluorescencia con filtro de excitación: 510-560 y filtro barrera de 590. Generalmente se observan 100 a 500 células por vidrio.

2. La evaluación se realiza, al momento, mediante dos métodos de visualización directos:

   I. 100 células son evaluadas visualmente de acuerdo a la intensidad de fluorescencia en la cola y clasificadas en 5 clases, dando a cada cometa un valor de 0 a 4, de acuerdo al grado de daño. El recuento global para cada vidrio (100 cometas analizados) será por lo tanto entre 0 (todos no dañados) y 400 (daño total). Aunque estas unidades son arbitrarias, pueden ser relacionadas con la intensidad relativa de la cola, que es en sí misma una función de la frecuencia de rupturas.

   II. 100 células son analizadas utilizando una escala calibrada en el ocular del microscopio de epifluorescencia. Para cada célula se mide la longitud de la imagen (diámetro del núcleo + migración del DNA) en micrones y se calcula la media.

Es posible también realizar la cuantificación mediante un sistema de análisis por imágenes vinculado a una cámara de video. Actualmente no se dispone de esta metodología aunque se está trabajando con un software general para análisis por imágenes proveniente del National Institute of Health a partir de imágenes levantadas con scanner de fotografías obtenidas de nuestros preparados.

APLICACIÓN A QUERATINOCITOS HUMANOS

Ensayo de Cometa Alcalino. Se realiza de acuerdo a las técnicas de Singh y Tice con modificaciones. Se prepara una fina capa de agarosa de punto de fusión normal al 1,5% sobre portaobjetos de microscopía con un extremo esmerilado. Después de la irradiación, ≈25 000 células en 50 µl son mezcladas con 100 µl de agarosa de bajo punto de fusión al 0,5%. La suspensión se pipetea sobre los vidrios portaobjetos pretratados y se cubre con cubreobjetos (24 x 40 mm). La agarosa se deja enfriar durante 5 min en la heladera, se remueven los cubreobjetos y los vidrios son sumergidos en solución de lisis fría a pH 10 (NaCl 2,5 M; Na_2EDTA 100 mM, Tris 10 mM pH 10; Tritón X-100 1%; DMSO 10%) y mantenidos a 4°C durante 45 min. A fin de permitir la desnaturalización del ADN, los vidrios son mantenidos en buffer de electroforesis alcalino a pH 13 (Na_2EDTA 1 mM /NaOH 300 mM) por 13 min. Subsecuentemente, los vidrios son transferidos a una cuba de electroforesis con buffer fresco y la corrida se realiza a 0,8 – 1 V/cm durante 10 min a 4°C (30 V-250 mA). Los vidrios se neutralizan en Tris 0,4 M pH 7,5 durante 5 min, se tiñen con bromuro de etidio 20 µg/ml, se cubren con cubreobjetos y se incuban durante 5 min en oscuridad. Todo el proceso es realizado en oscuridad y a 4°C para impedir daño adicional del ADN.

Ensayo de Cometa Neutro. Se realiza de acuerdo a las técnicas de Cerda, H. y Olive, P. con modificaciones. Se prepara una capa de agarosa de punto de fusión normal al 1% sobre los portaobjetos. Después de la irradiación, ≈25 000 células en 50 µl son mezcladas con 100 µl de

agarosa de bajo punto de fusión al 0,7%, procediendo de igual manera que para el ensayo alcalino. Los vidrios son sumergidos en buffer de lisis [buffer TBE: Tris-borato 45 mM; EDTA 1mM pH 8,4 (0,5 x), conteniendo SDS 2,5%] durante 2 h a 37°C. Luego se sumergen los vidrios en buffer de electroforesis, solución de trabajo buffer TBE (0,5 x) durante 25 min a 12°C. La corrida electroforética se realiza en buffer de electroforesis (0,5 x) a 1 V/cm, 40 V-4 mA, durante 25 min a 12°C. Se enjuaga con agua destilada y se colorea con bromuro de etidio 20 μg/ml.

C A P Í T U L O 6

LABORATORIOS DE DOSIMETRÍA FÍSICA

1. PROCEDIMIENTOS PARA LA LECTURA DE DOSÍMETROS TERMOLUMINISCENTES CON EL EQUIPO HARSHAW 3500

OBJETIVO

Establecer el procedimiento a seguir para la lectura de los dosímetros termoluminiscentes.

ALCANCE

Este procedimiento es aplicable a todos los dosímetros termoluminiscentes pertenecientes a la Autoridad Regulatoria Nuclear, que son utilizados tanto en dosimetría personal como en cualquier otra situación.

REFERENCIAS Y ANTECEDENTES

- Manual de operación del equipo lector HARSHAWQS 3500
- Software del equipo HARSHAWQS 3500

EQUIPAMIENTO Y MEDIOS AUXILIARES

Se deberá contar con:

- Horno de tratamiento térmico Temperatura fijada en 100°C
- Equipo lector HarshawQS 3500
- PC asociada
- Tubos de Nitrógeno calidad SE (alta pureza)
- Manómetros
- Pinza de Teflón
- Cajas de Petri
- Lupas
- Fuente radiactiva de Cs 137
- Alcohol isopropil
- Limpiador de lentes (papel y líquido) KODAK

DOSÍMETROS: PREPARACIÓN FÍSICA

Para efectuar la lectura de los dosímetros se deben cumplir los siguientes pasos previos.

1. Se preparan los dosímetros de la siguiente forma: a) del conjunto de dosímetros no irradiados se toman 5 (cinco) y se los irradia en las condiciones de referencia (Fuente de Cs 137

en aire libre, para una dosis absorbida en el dosímetro de 3 mGy, a 1metro) y b) se eligen al azar 5 (cinco) para ser considerados como fondo.

2. Se deja transcurrir por lo menos 15 horas.
3. Se enciende el equipo y se abre el tubo de nitrógeno hasta que el manómetro indique 20 unidades. Se ubican en una placa de Petri todos los dosímetro involucrados (fondo, calibración, y usuarios).
4. Se coloca la placa en un horno a 100°C durante 20 minutos.
5. Luego de realizado este tratamiento térmico y habiendo transcurrido 120 minutos de encendido, se procede a la lectura.

VERIFICACIONES EN EL EQUIPO

Las verificaciones en el equipo lector se realizan con 40 unidades de flujo de nitrógeno. Se trabaja con la impresora conectada para tener una doble toma de datos (por impresora y por diskette). Las indicaciones de posicionamiento del drawer se deben observar en la pantalla así como la indicación de gas “on”.

PMT NOISE, ubicación del drawer en ” Between” (10 lecturas) rango de trabajo (0,050- 0,060nC). Medición de la corriente oscura del fototubo.

TEST LIGHT, se efectúan 10 lecturas con el drawer completamente abierto (rango de trabajo 200-215nC). Verificación de la luz de prueba.

LECTURA DE PLANCHUELA, se realiza todo el ciclo de calentamiento estipulado en 3.2.1 c) (con el drawer totalmente cerrado, se efectúan 10 lecturas).

PROCEDIMIENTO DE LECTURA

La PC va al programa Harshaw, y se procede de la siguiente forma:

1. **FILE OPEN** RESPONSE y se realiza la selección del nombre para definir un nuevo archivo.
2. **PARAMETERS ADQUISITION** y se aceptan las condiciones prefijadas con excepción de ”IF reading exceeds”. La selección de esta última dependerá del tipo de dosímetro involucrado (dosimetría personal de rutina igual a 10nC; 100nC; 10nC para las tres condiciones indicadas en forma secuencial; y en el caso de cualquier otra actividad dichos valores deben ser mayores o iguales a 100 000nC)
3. **PARAMETERS DOSEMETER**

   Se deben considerar distintas condiciones de lectura según el tratamiento térmico aplicado a los detectores:

   I. Tratamiento térmico con hornos externos al equipo. Ver las especificaciones correspondientes.

   Aplicable a detectores TL de LiF_6, $LiF_{7,}$, y CaF_2: Dy.

   Ámbito de aplicación: protección radiológica y auditoría en equipos de teleterapia.

   - Preheat temp = 23°C - time: 0 s
   - Adquire rate = 10°C/s
   - Adquire temp = 300°C

- Adquire time = 30 s
- Anneal temp = 300°C - Time: 0 s

II. Tratamiento térmico en el equipo. Ver las especificaciones correspondientes. Aplicable a detectores de LiF_7 y CaF_2.

Ámbito de aplicación: dosimetría personal y ambiental.

- Preheat temp = 120°C - time: 10 s
- Adquire rate = 10°C/s
- Adquire temp = 270°C
- Adquire time = 16 s
- Anneal temp = 300°C - Time: 5 s

III. Tratamiento térmico en el equipo. Ver las especificaciones correspondientes. Aplicable a detectores de LiF_6.

Ámbito de aplicación: dosimetría ambiental.

- Preheat temp = 120°C – time: 10 s
- Adquire rate = 10°C/s
- Adquire temp = 300°C
- Adquire time = 18s
- Anneal temp = 300°C - Time: 5 s

En caso de trabajar con otro tipo de material las condiciones de lectura se modificarán adecuadamente.

LECTURA DE LOS DOSÍMETROS TERMOLUMINISCENTES

Se colocan los dosímetros en forma individual en el drawer del equipo y se van leyendo siguiendo el ciclo seleccionado en 3.2.1.

Cada 20 lecturas se repitan las lecturas de PMT y de TEST LIGHT. Se realizan 5 lecturas de cada una de aquellas para controlar del equipo.

VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA: LECTOR, DETECTORES, TRATAMIENTO TÉRMICO. OBTENCIÓN DEL FACTOR DE CALIBRACIÓN PARA LA ENERGÍA DE CS 137

Se corrige los valores de lectura por los factores de sensibilidad individual.

Se realiza el promedio de las lecturas de los dosímetros irradiados con Cs 137, $<L_{irr}>$.

idem detectores de fondo <Lo>.

Se calcula la dosis absorbida en los detectores para el tiempo de irradiación, $K_{aire,\ \mathbf{Cs137.}}$

Se calcula el factor de calibración expresado en (nC/mGy):

$$S_{aire,Cs} = \frac{< Lirr > - < Lo >}{K_{aire,Cs}}$$

REGISTRO

Los datos de verificación del equipo, y de el factor de calibración quedan archivados en la propia PC y en el ZIP correspondiente de ese lector.

2. TRATAMIENTOS TÉRMICOS APLICADOS A LOS DOSÍMETROS TERMOLUMINISCENTES

OBJETIVO

Definir los tratamientos térmicos aplicados a los detectores termoluminiscentes (TLD) utilizados.

ALCANCE

Se aplica a todos los detectores termoluminiscentes utilizados en el laboratorio de Dosimetría Física perteneciente a la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN).

TRATAMIENTO TÉRMICO CON HORNOS EXTERNOS

Equipamiento y materiales

- 2 hornos eléctricos con temperaturas preestablecidas a 400°C y 100°C
- lupa de laboratorio adaptada
- pinzas de teflón para manipulación de dosímetros
- placas de petri
- recipiente de acero inoxidable con cierre hermético
- alcohol isopropílico
- etiquetas
- dosímetros TL
- cajas protectoras de TLD

Acciones previas

1. Precalentamiento de horno a 400°C (20' antes de ser utilizado).
2. Verificación de la temperatura en el horno de 100°C. Este horno permanece encendido en forma permanente.

DESCRIPCIÓN DEL TRATAMIENTO

1. Los TLD numerados según se explica en “Instrucción para la determinación del factor de sensibilidad de los dosímetros termoluminiscentes (TLD)” se disponen en placas de petri agrupados de a cinco y éstas a la vez en recipientes de acero inoxidable herméticos.
2. Se colocan los detectores en el primer horno precalentado a 400°C. Luego de 1 hora los mismos son sacados y pasados inmediatamente al segundo horno de 100°C.
3. Los detectores permanecen en esta condición durante 3 horas. Finalmente son sacados de este segundo horno y se dejan enfriar a temperatura ambiente.
4. Se colocan los detectores en su caja protectora y se procede a utilizarlos.

LECTURA DE LOS DOSÍMETROS

Véase Procedimiento para la lectura de los dosímetros termoluminiscentes con el equipo Harshaw 3500”.

TRATAMIENTO TÉRMICO CON EL EQUIPO LECTOR

Recursos

- lupa de laboratorio adaptada
- pinzas de teflón para manipulación de dosímetros
- alcohol isopropílico
- etiquetas
- detectores TL
- cajas protectoras de TLD
- equipo lector de TLD Harshaw QS3500 y PC e interfaces asociadas
- manómetro asociado al equipo
- nitrógeno calidad SE
- limpiador de lentes y papel KODAK

Acciones previas

Encendido del equipo lector de TLD y circulación de nitrógeno según "Instrucción para Lectura de TLD”.

Descripción del tratamiento

El tratamiento térmico se realiza durante el proceso de medición. Véase Procedimientos para la lectura de los dosímetros termoluminiscentes con el equipo Harshaw 3500.

Luego del tratamiento (lectura - puesta a cero) son guardado en la caja protectora de TLD para su uso.

REFERENCIAS

1. Spano, Francisco: Tesis de Licenciatura en Ciencias Físicas, 1980, FCE y N. UBA.
2. Papadópulos, S y col. Aplicaciones de un nuevo tratamiento térmico en detectores Tl de uso en dosimetría ambiental, IRPA Regional, Recife, Brasil (2000).

3. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE SENSIBILIDAD DE LOS DOSÍMETROS TERMOLUMINISCENTES (TLD)

OBJETIVO

Determinar el factor de sensibilidad de los dosímetros termoluminiscentes (TLD) utilizados para dosimetría personal.

ALCANCE

Se aplica a todos los dosímetros termoluminiscentes utilizados en el laboratorio de Dosimetría Física perteneciente a la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN).

EQUIPAMIENTO

- dosímetros TL
- equipo lector de TLD Harshaw QS3500 y PC e interfaces asociadas
- manómetro asociado al equipo
- 2 hornos eléctricos con temperaturas preestablecidas a 400°C y 100°C
- lupa de laboratorio adaptada
- pinzas de teflón para manipulación de dosímetros
- placas de petri
- nitrógeno calidad SE
- fuente radiactiva de Cs 137
- soporte de irradiación para obtener equilibrio electrónico
- recipiente de acero inoxidable con cierre hermético
- alcohol isopropílico
- limpiador de lentes y papel KODAK
- lápiz de punta fina, dureza 2H
- cajas protectoras de TLD
- etiquetas

ACCIONES PREVIAS

1. Encendido del equipo lector de TLD y circulación de nitrógeno según "Instrucción para Lectura de TLD".
2. Precalentamiento de horno a 400°C (20' antes de ser utilizado).
3. Verificación de la temperatura en el horno de 100°C.

PROCEDIMIENTO

1. Se toman lotes de 100 dosímetros los cuales son colocados bajo una lupa de laboratorio para ser rotulados. Dicha identificación se escribe en el canto del dosímetro con lápiz de

grafito de dureza 2H, y consiste en un carácter alfanumérico de 4 dígitos: el primer dígito corresponde al tipo de TLD, y los tres siguientes son números consecutivos.

2. Se disponen los TLD en placas de petri agrupados de a cinco y éstas a la vez en recipientes de acero inoxidable herméticos.
3. **Recocido:** se colocan los dosímetros en el primer horno precalentado a 400°C. Luego de 1 hora los mismos son sacados y pasados inmediatamente al segundo horno que está constantemente encendido con una temperatura de 100°C. Los dosímetros permanecen en estas condiciones durante 3 horas. Finalmente son sacados de este segundo horno y se dejan enfriar a temperatura ambiente.
4. Se colocan los dosímetros en su caja protectora.
5. Irradiación: se disponen los dosímetros en el soporte de irradiación el cual se irradia en aire libre a una distancia de la fuente de 1m, el tiempo suficiente de modo tal que la dosis sea de aproximadamente 3 mGy. Luego de la irradiación se dejan los dosímetros a temperatura ambiente según la "Instrucción para Lectura de TLD".
6. Se realiza la lectura de los dosímetros según la "Instrucción para Lectura de TLD". La lectura está expresada en nC.
7. Se ingresan los valores de las lecturas en el archivo FSENS.XLS de la planilla de cálculo Excel.
8. Se procede a realizar el segundo recocido según 3.
9. Se repiten 4, 5, 6, 7, dos veces más, obteniéndose de este modo tres lecturas por dosímetro, para todo el lote.
10. Finalmente se coloca una etiqueta en la caja protectora, donde figura el número de lote y la fecha del último recocido.

OBTENCIÓN DE RESULTADOS

Se obtienen los valores del coeficiente de variación porcentual (CV%) y el factor medio de sensibilidad (FS) directamente de la planilla Excel. Un ejemplo de la misma figura en el Anexo I. Cada dosímetro tendrá asociado un factor de sensibilidad para cada lectura del mismo.

REGISTROS

Habrá tres registros de los resultados: un registro en papel, una copia en el disco rígido de la PC y otra copia en un diskette, los cuales son archivados en el sector de Dosimetría Física.

OBSERVACIÓN

En el caso de seleccionar como tratamiento térmico el realizado con el equipo, no se aplicarán los puntos 2 y 3 (de Acciones previas) y los puntos 2 y 3 (de Procedimiento).

REFERENCIAS

Manual de Operación del Equipo Lector de TLD Harshaw QS3500.

Software del Equipo Lector de TLD.

Procedimiento para Evaluación de Dosímetros TLD.

OBJETIVO

Establecer el procedimiento para la evaluación de la dosis equivalente personal Hp(10) para radiación gamma.

ALCANCE

Este procedimiento es aplicable a todos los dosímetros personales armados con detectores termoluminiscentes tipo LiF7 pertenecientes a la Autoridad Regulatoria Nuclear.

REFERENCIAS Y ANTECEDENTES

Norma ISO 4037-3

ICRP-60

Certificado de calibración de la fuente Cs-137 expedido por el Centro Regional de Referencia para Dosimetría(CRR) de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA).

Certificado de calibración de dosímetros personales en términos de la dosis equivalente personal gamma expedido por el CRR de la CNEA.

PROCEDIMIENTO

Acciones previas

Se deberá contar con:

1. Una calibración de los dosímetros personales realizada en el CRR de la CNEA en los haces de radiación gamma según la norma ISO 4370-3.
2. Una calibración de los dosímetros personales en la fuente terciaria de Cs 137, ubicada en el bunker del edificio principal de la ARN de su propiedad, según la norma ISO 4037-3.
3. Factores de calibración en función de la energía (respuesta del equipo lector por unidad de dosis equivalente personal; nc/mSv).
4. Factores de sensibilidad de los detectores utilizados en los dosímetros personales.

Se deberá proceder a la verificación del sistema de detección en su conjunto utilizando la fuente de Cs-137 ya nombrada.

Con este fin se separarán como mínimo seis (6) detectores, de los cuales tres (3) serán irradiados en aire libre a 1m de la fuente de Cs 137 durante por lo menos 30 min y tres (3) serán considerados fondo ó blancos.

Se procederá a la lectura de todos los detectores según el procedimiento correspondiente.

Se corregirá el valor de lectura de cada uno de ellos aplicando el correspondiente factor de sensibilidad (fs). Se calculará el factor de calibración en aire libre para la energía de Cs 137, como:

$$S_{aire,Cs} = \frac{\left[\left(L_i\,(nC)/fd_i\right) - L_{0j}\,(nC)/fd_j\right]}{K_{aire}\,(mGy)}$$

donde

Lj = es la lectura del detector irradiado j

L_{0j} = es la lectura del detector blanco j

K_{aire} = es el kerma en aire de la fuente de Cs 137 a 1m luego de ser irradiada durante un tiempo adecuado (30 min).

El factor de calibración en función de Hp(10) para la energía de Cs 137 es:

$$S_{Hp\,(10),Cs} = S_{aire,Cs} * 1.21$$

Desarrollo

Se procederá a la lectura de todos los detectores según el procedimiento descrito en 6.3.

Se corregirá el valor de lectura de cada uno de ellos aplicando el correspondiente factor de sensibilidad (fs).

Se identifica el campo de radiación en que fueron irradiados.

Se referirá a la $S_{Hp(10),Cs}$ correspondiente a la fecha de irradiación de los detectores y se corregirá la sensibilidad para la correspondiente energía.

Factor de corrección en sensibilidad se anota Fc y se define como:

$$Fc = S_{Hp(10),\,Cs,\,calibrada} / S_{Hp(10),\,Csverificada}$$

La dosis equivalente personal Hp(10) se expresará como:

$$Dosis\ equivalente\ personal, H_p(10) = \frac{\left[\left(L_i\,(nC)/fd_i\right) - L_{0j}\,(nC)/fd_j\right]}{S_E\,(nC/mSv) * Fc}$$

Informe

Se informará el valor de Hp(10) junto con el error calculado con el 99% de confianza como ($3SD_{fondo}/S_{aire,Cs}$).

Los dosímetros personales son asignados por el Gerente de Seguridad Radiológica (GSR) y por el Subgerente de Estudios Físico y Radiobiológicos.

En el anexo se presenta la planilla de informe de la dosis equivalente personal.

Deberá archivarse en formato *.doc en PC y en ZIP e informarle al (GSR) y al Grupo Evaluaciones Dosimétricas de la ARN por e-mail.

5. PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA DOSIS EQUIVALENTE PERSONAL EN CAMPOS MIXTOS

OBJETIVO

Establecer el procedimiento para la evaluación de la dosis equivalente personal Hp(10) en campos mixtos.

ALCANCE

Este procedimiento es aplicable a todos los dosímetros personales armados con detectores termoluminiscentes tipo ^{7}LiF y ^{6}LiF pertenecientes a la Autoridad Regulatoria Nuclear.

REFERENCIAS Y ANTECEDENTES

Norma ISO 8529

ICRP-60

Certificado de calibración de la fuente Cs 137 expedido por el Centro Regional de Referencia para Dosimetría(CRR) de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)

Certificado de calibración de dosímetros personales en términos de la dosis equivalente personal gamma expedido por el Centro Regional de Referencia para Dosimetría(CRR) de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)

PROCEDIMIENTO

Acciones previas

Se deberá contar con:

1. Una calibración de los dosímetros personales realizada en el Centro Regional de Referencia para Dosimetría(CRR) de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) en los haces de radiación gamma según la norma ISO 4370-3.
2. Una calibración de los dosímetros personales en la fuente de Cs 137, ubicada en el bunker del edificio principal de la ARN de su propiedad, según la norma ISO 4037-3.
3. Factores de calibración de los detectores de ^{6}LiF y ^{7}LiF para radiación gamma (fuente de Cs 137).
4. Factor de calibración de la lectura térmica en el ^{6}LiF en función de la dosis equivalente personal para cada campo de radiación mixto.
5. Factores de sensibilidad de los detectores utilizados en los dosímetros personales.

Se deberá proceder a la verificación del sistema de detección según el procedimiento correspondiente.

Desarrollo

Se procederá a la lectura de todos los detectores según el procedimiento correspondiente.

Se corregirá el valor de lectura de cada uno de ellos aplicando el correspondiente factor de sensibilidad (fs).

Se identifica el campo de radiación mixto en que fueron irradiados.

Se aplica el algoritmo de respuesta para los dosímetros personales, descrito en el Procedimiento para la irradiación de detectores personales en campo de neutrones y la obtención del factor de calibración, con el fin de obtener la lectura correspondiente a la componente gamma neta ($L\gamma = L_7$) y a la componente térmica neta (L_t) del campo de radiación.

Para la obtención de las dosis equivalente personal se aplican los procedimientos correspondientes:

$$H_p(10)\ \gamma = L_7 / S_{Hp,\gamma}$$

$$H_p(10)\ n = L_t / S_{Hp,n}$$

donde

$S_{Hp,\gamma}$ = es el factor de calibración en función de Hp(10) para radiación gamma.

$S_{Hp,n}$ = es el factor de calibración para radiación neutrónica.

Hp(10) = es la suma de ambas componentes.

REGISTRO

Se informara el valor de Hp(10) junto con el error calculado con el 99% de confianza ($3SD_{fondo}/S_{aire,Cs}$) para cada componente.

Los dosímetros personales para campos de radiación mixtos son asignados por el Gerente de Seguridad Radiológica (GSR)y por el Subgerente de Estudios Físico y Radiobiológicos.

En el anexo se presenta la planilla de informe de la dosis equivalente personal.

Deberá archivarse en formato *.doc en PC y en ZIP e informarle al (GSR) y al Grupo Evaluaciones Dosimétricas de la ARN por e-mail.

6. PROCEDIMIENTO PARA LA IRRADIACIÓN DE DETECTORES PERSONALES EN CAMPO DE NEUTRONES Y LA OBTENCIÓN DEL FACTOR DE CALIBRACIÓN

OBJETIVO

Establecer el procedimiento para la irradiación de detectores personales en campos de neutrones y la obtención del factor de calibración expresado en función de la dosis equivalente personal, Hp(10).

ALCANCE

Este procedimiento es aplicable a todos los dosímetros personales armados con detectores termoluminiscentes tipo LiF7, LiF6 con ó sin filtro de Cd pertenecientes a la Autoridad Regulatoria Nuclear y cualquier otro tipo de detectores incluidos en un dosímetro personal.

REFERENCIAS Y ANTECEDENTES

Norma ISO8529

ICRP-60

Certificado de fabricación de la fuente de ^{252}Cf perteneciente a la ARN.

Certificado de calibración de la fuente de ^{137}Cs expedida por el Centro Regional de Referencia (CRR) de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA).

EQUIPAMIENTO Y MEDIOS AUXIIARES

- Fuente de AmBe SN-047 de 1.14e+7 s^{-1} (10%).
- Fuente de Cf 252 de 2.4 e+6 s^{-1}(14/5/94).
- Fuente de Cs 137.
- Fantoma según norma ISO 8529.
- Detectores termoluminiscentes (TLD) de ^{6}LiF.
- Detectores termoluminiscentes (TLD) de ^{7}LiF.
- Sensibilidad a radiación gamma (energía de Cs 137) en aire de los detectores de ^{7}LiF, $S^{(7)}_{aire.}$
- Sensibilidad a radiación gamma (energía de Cs 137) en aire de los detectores de ^{6}LiF, $S^{(6)}_{aire.}$
- Factores de conversión de fluencia(cm^{-2}) en Hp(10) (Sv)
- Sistema de posicionamiento ubicados en el laboratorio anexo al laboratorio de Dosimetría Física de la ARN.
- Factores de sensibilidad de los detectores utilizados en los dosímetros personales.
- Portadosímetros personales.

PROCEDIMIENTO

Irradiación

Se procede a la preparación de los TLD de LiF_6 y LiF_7 según el procedimiento correspondiente.

Se procede a la preparación de los dosímetros personales de la ARN según procedimiento.

Se procede a posicionar los dosímetros personales para su irradiación según la norma ISO8529.

El tiempo de irradiación estará determinado por la intensidad de la fuente de radiación.

Lectura de los dosímetros

Se procede a realizar la lectura de los detectores según la instrucción de lectura:

Se corregirá el valor de lectura de cada uno de ellos aplicando el correspondiente factor de sensibilidad (fs).

Cálculo de la fluencia de neutrones en el punto de irradiación

$$\Phi = \frac{flujo\,(s^{-1})}{4\pi(d)^2} * Tirr\,(cm^{-2})$$

donde

D = es la distancia del detector a la fuente.

Tirr = es el tiempo de irradiación.

Algoritmo de respuesta del dosímetro personal

L_6 (d) = $L\gamma + Ln = L\gamma + Lt + L_{int}$

L_6 (b/Cd) = $L\gamma + L\gamma$ (Cd) + L_{int}

L_7 (b/Cd) = $L\gamma + L\gamma$ (Cd)

L_7 (d) = $L\gamma$

L_t = L_6 (d)- L_6 (b/Cd) - [L_7 (b/Cd) +L_7 (d)][$S_{aire,\,Cs}^{(6)}$/ $S_{aire,\,Cs}^{(7)}$]

donde

L_i = es la lectura del ^{6}LiF ó ^{7}LiF corregidas por sensibilidades y blancos.

El factor de conversión de fluencia en dosis equivalente personal **($h_p(10)$)**

AmBe $h_p(10)$ = 411 pSvcm^{-2}

^{252}Cf $h_p(10)$ = 110 pSvcm^{-2}

La dosis equivalente personal en el punto de irradiación, se obtiene como:

$$H_p(10) = h_p(10)*\Phi$$

donde

Φ está descripto en *Cálculo de la fluencia de neutrones en el punto de irradiación*

El factor de calibración de los dosímetros personales en función de la dosis equivalente personal para el campo de radiación de neutrones se obtiene de la siguiente expresión:

$$S_{Hp(10),E}\,(nc/mSv) = \frac{\lfloor Lt_j - Lt_{0_j} \rfloor}{H_P(10)}$$

Los factores de calibración para distintos campos de radiación están presentados en el anexo correspondiente.

7. PROCEDIMIENTO PARA EL ARMADO Y EVALUACIÓN DE DOSÍMETROS DE CONTROL Y CONTENCIÓN DE MATERIAL NUCLEAR

OBJETIVO

Establecer el procedimiento para el armado y su correspondiente evaluación de los dosímetros de control y contención de material nuclear en el ámbito de salvaguardias.

ALCANCE

Este procedimiento es aplicable a los dosímetros armados con detectores termoluminiscentes tipo ^{7}LiF, ^{6}LiF pertenecientes a la Autoridad Regulatoria Nuclear que serán utilizados en el control de material nuclear con fines de salvaguardias en la esfera de contención de la central nuclear de Atucha I (CNAI)

REFERENCIAS Y ANTECEDENTES

Norma ISO8529

ICRP-60

Certificado de fabricación de la fuente de Cf 252 perteneciente a la ARN.

Certificado de calibración de la fuente de Cs 137 expedida por el Centro Regional de Referencia (CRR) de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA).

EQUIPAMIENTO Y MEDIOS AUXILIARES

- Detectores termoluminiscentes (TLD-600) de ^{6}LiF.
- Detectores termoluminiscentes (TLD-700) de ^{7}LiF.
- Sensibilidad a radiación gamma (energía de Cs 137) en aire de los detectores de ^{7}LiF, $S^{(7)}_{aire.}$
- Sensibilidad a radiación gamma (energía de Cs 137) en aire de los detectores de ^{6}LiF, $S^{(6)}_{aire.}$
- Factores de sensibilidad de los detectores utilizados en los dosímetros personales.
- Cápsulas de acrílico con espesor de 3,5 mm necesario para lograr el equilibrio electrónico para la radiación de Co 60. Las cápsulas tienen dos ranuras en forma de cruz que permiten alojar los TLD.
- Factor de Calibración de TLD-600 en la columna térmica del RA 1.

DESARROLLO

Selección de los detectores

Ver el procedimiento correspondiente.

Armado de los detectores

Se procede a la preparación de los TLD de ^{6}LiF y ^{7}LiF según el procedimiento XXX.

Se procede a la preparación de las cápsulas: Cada cápsula contendrá 3 (tres) TLD-600 y tres (3) TLD-700 ubicados alternadamente. Se tapan las cápsulas con un disco del mismo material y espesor. Cada cápsula se numera y se sella con film para evitar posibles contaminaciones.

Envío de los detectores

Serán enviados en sobre cerrado a la Subgerencia de Salvaguardias, a nombre de la persona que realizó el pedido por e-mail.

Lectura de los detectores

Se procede a realizar la lectura de los detectores según la instrucción correspondiente:

Se corregirá el valor de lectura de cada uno de ellos aplicando el correspondiente factor de sensibilidad (fs).

Evaluación de los detectores

Se obtienen los factores de calibración para TLD-600 y TLD-700 según la instrucción correspondiente.

Se calcula el valor medio de las mediciones de TLD-600. Se descuenta el fondo. Se obtiene $<L_6>_{neta}$.

Idem TLD-700.

Se realiza:

$$Ln = <L_6>_{neta} - \{<L_7>_{neta}\} x \{ S^{(6)}_{aire} / S^{(7)}_{aire} \}$$

Dn = Dosis absorbida de neutrons (Gy): Ln x Sn_T (RA1)

Dg = Dosis absorbida gamma (Gy); $<L_7>_{neta}$ x $S^{(7)}_{aire}$

Dt = Dn + Dg

INFORME

El informe será firmado por el responsable de Dosimetría Física y enviado por e-mail y en copia de papel al Subgerente de la Subgerencia de Salvaguardias.

8. INSTRUCCIÓN PARA LA MEDICIÓN DE ESPECTROS DE NEUTRONES EN PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

OBJETIVO

Establecer el procedimiento para utilizar el Sistema de esferas de Bonner.

ALCANCE

Este procedimiento es aplicable al sistema de detección de esferas de Bonner perteneciente a la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN).

REFERENCIAS Y ANTECEDENTES

Norma ISO 8529

ICRP-60

Certificado de fabricación de la fuente de Cf 252 perteneciente a la ARN.

Respuesta teórica del sistema multiesfera en función de la energía.

Certificado de calibración en diámetros del set de esferas expedido por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).

Certificado de calibración de la densidad del set de esferas de polietileno expedido por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).

Manual de operación del Multicanal, Nomad Plus, ORTEC.

Manual de operación del MAESTRO, ORTEC.

Especificaciones técnicas del detector SP9, Centronic,

Especificaciones técnicas del preamplificador, 142PC, ORTEC.

EQUIPAMIENTO Y MEDIOS AUXILIARES

- Detector de He 3 , modelo SP9, marca Centronic.
- Multicanal, modelo Nomad Plus, marca ORTEC.
- Preamplificador, modelo 142PC, marca ORTEC.
- Computadora personal (PC) para adquisición de la información.
- Código MAESTRO, marca ORTEC.
- Set de esferas de polietileno de diámetros 3”, 4”, 5”, 6”, 7”, 8”, 9”, 10”, 12”, 15”.
- Filtro de Cadmio (Cd), cilíndrico de 2,5”de diámetro y 3”de alto, con tapa con agujero para permitir el pase del conector del detector.
- Banco y soporte para posicionamiento de las esferas.
- Cinta métrica.
- Cable de conexión de tensión de 5 m con por lo menos dos entradas para el multicanal y la PC.

DESARROLLO

Conexión del sistema

Elementos a interconectar: detector, multicanal, PC

MULTICANAL (MCA)

El MCA funciona conectado a la línea de 220 V, 60 Hz. ó a batería (autonomía de 8 h).

El encendido se realiza con la tecla “Power”, de tres posiciones: on (encendido), off (apagado) y charge (carga). Para trabajar con la batería deberá permanecer en “carga”, conectado a la línea, durante por lo menos 4 h.

El control se ADC se realiza externamente utilizando un destornillador tipo perillero y un tester externo. Se fijan los parámetros en los siguientes valores:

Cero = 0,005 V
LL = 0,3 V

El control de tensión del detector se realiza desde el MCA por medio de la perilla “Bias”.

Tensión de operación del detector: 790V.

Conexiones al MCA:

Desde el preamplificador	HV (MCA) con Bias (pre)
	Amp in (MCA) con Energy (pre)
	Entrada pre (MCA) con pre
Desde PC	Al puerto “computer” del MCA

DETECTOR

Se conecta al conector “input”del preamplificador

PROGRAMA MAESTRO

Se debe instalar en la PC según indica el correspondiente manual de operación.

Se abre el Maestro.

En la pantalla, se marca la condición detector.

Se fijan los parámetros en el MCA:

Adquire. ADC Set up. Conversion Gain:1024.

Adquire. Adjust Control. Amplifier Gain: 0.4940; X40 (effective Gain 19.79); shaping time: long, Preamplificador type/ automatic zero pole: resistive feedback.

Proceso de medición

Fijar los parámetros en el MCA.

Definir el punto de medición.

Fijar con soportes adecuados la altura de 1 m respecto del piso el detector asegurando, que la distancia entre el piso y el detector sea constante cualquiera sea el diámetro de las esferas.

Seleccionar una esfera y colocar el detector dentro de la misma.

Levantar la tensión: **Adquire**. Adjust control. Enable HV. Close.

Fijar el tiempo de medición según la intensidad del campo de radiación: **Adquire**. Set Limits, Live Time : se fija el tiempo de medición. Close

Iniciar la medición. **Adquire**. Start.

Terminada la medición, integrar el espectro desde el canal 15 hasta el canal 450. **ROI.** Begin**.** Fijar el cursor en 15. End. Fijar el cursor en 450. En el inferior de la pantalla aparecerá Gross y Net Gross.

Services. Sample description. Detallar características de la medición: punto de medición, etc.

Archivar el espectro en C:\maestro\carpeta*.chn; donde “carpeta” deberá indicar claramente la instalación.

Bajar la tensión. **Adquire**. Adjust Control. Enable HV. Desmarcar.

Repetir el proceso desde 1. para cada esfera, el detector desnudo y el detector en filtro de Cd.

Luego de realizar todas las mediciones armar un archivo en excel para cada punto de medición. Deberá contener el diámetro de la esfera y los valores correspondientes de la “Gross” y el tiempo de medición. Serán transferidos como entrada al código de convolución.

9. INSTRUCCIONES PARA LA DETERMINACIÓN DE DOSIS NEUTRÓNICA MEDIANTE EL SISTEMA ESPECTROMÉTRICO DE ESFERAS BONNER

OBJETIVO

Establecer el procedimiento a seguir para la determinación de la dosis neutrónica en un punto arbitrario de una instalación radiactiva mediante el uso del Sistema Espectrométrico de Esferas de Bonner.

ALCANCE

Este procedimiento es aplicable a todas las mediciones realizadas por la Autoridad Regulatoria Nuclear utilizando el Sistema Espectrométrico de Esferas de Bonner perteneciente al Laboratorio de Dosimetría Física.

REFERENCIAS Y ANTECEDENTES

Software para deconvolución de espectros: Programa LOUHI82, (NEA DATA Bank)

Software auxiliar desarrollado por el grupo de dosimetría física.

EQUIPAMIENTO Y DATOS NECESARIOS

Se deberá contar con:

- Una computadora personal o portátil que tenga instalado un sistema operativo DOS 6.0 o superior.
- Mediciones obtenidas con el Sistema Espectrométrico de Esferas de Bonner.

PROGRAMAS NECESARIOS

Los programas necesarios para realizar la evaluación de dosis se hallarán instalados en el directorio **C: \LOUHI82**. Si dicho directorio no existiera se procederá a la instalación del mismo, la cual se debe realizar siguiendo los pasos a continuación detallados:

a. En el directorio raíz del disco C (C:\) se deberá crear el directorio LOUHI82 mediante la instrucción md LOUHI82.

b. Cambiar al directorio creado (C: \LOUHI82) mediante la instrucción cd LOUHI82.

c. Proceder a copiar los archivos desde el medio donde se encuentran disponibles los mismos (unidad fuente) hacia el directorio destino (C: \LOUHI82) mediante la instrucción b copy d:\LOHUI82*.* ***.*** , donde ***d*** representa el nombre de la unidad fuente (por ej. ***a*** o ***b*** en el caso de un diskette).

DETERMINACIÓN DE LA DOSIS Y ESPECTRO NEUTRÓNICO

Para determinar la dosis y los espectros neutrónicos correspondientes a las mediciones realizadas se utilizarán los programas anteriormente mencionados. Existe un programa principal que realiza la deconvolución de los espectros neutrónicos tomando como dato los valores de las mediciones realizadas; dicho programa se llama LOUHI82. Los otros programas son códigos de cálculo auxiliares que se basan en los resultados obtenidos por el LOUHI82. El procedimiento a seguir para efectuar el cálculo es el siguiente:

a. Se ejecuta el programa ***unfold.exe*** y se presiona la barra de espaciar.

b. De manera secuencial el programa pedirá los nombres a asignar a los siguientes archivos:

Archivo de entrada para el LOUHI
Archivo de salida para el LOUHI
Archivo de salida para la información
Archivo de salida para los gráficos

debiendo presionar la tecla enter luego de introducir cada uno de los nombres.

Los dos primeros son archivos específicos del programa y se encuentran codificados de acuerdo al formato FORTRAN y por lo tanto son difíciles de entender por personas no especialistas, por lo cual normalmente el usuario no tendrá interacción directa con los mismos.

El tercer archivo es resumen de la salida del LOUHI82 y contiene todos los datos necesarios para la evaluación de la dosis y determinación de las características del espectro neutrónico asociado con la misma.

El cuarto archivo contiene los datos necesarios para graficar el espectro; se trata de un archivo de texto con datos encolumnados, para ser interpretado por cualquier programa de gráficos.

Si bien los nombres de dichos archivos pueden ser arbitrarios mientras no sobrepasen los ocho dígitos mas tres de extensión se recomienda usar nombres que permitan relacionarlos fácilmente con los datos asociados.

c. La pantalla siguiente pedirá el tipo de detector utilizado durante la medición, por lo cual es muy importante el conocimiento de dicha información pues cada detector tiene asociado un diferente conjunto de datos para realizar los cálculos correspondientes. Se debe entrar el tipo de detector mediante un número asociado y luego presionar la tecla enter.

d. La pantalla siguiente presenta el título descriptivo del cálculo, y es el que aparecerá en los archivos generados posteriormente, por lo cual es conveniente que el mismo describa el problema para poder relacionar fácilmente el archivo con el problema físico concreto.

Debido a esto último el programa presenta la opción de cambiar dicho título, para lo cual se deberá responder por sí (s) o por no (n), presionando la letra correspondiente, y en caso de desear cambiar el título introducir el nuevo título; la pantalla se repite hasta que el usuario contesta que no desea cambiar el mismo.

e. La pantalla siguiente presenta los puntos energéticos en los cuales se calculará el valor del espectro. Si bien es posible modificar esto se recomienda mantener los valores por defecto. En caso de querer modificar los valores por defecto, se presentan dos opciones por teclado o por archivo. En caso de elegir la opción por archivo el programa pide el nombre de un archivo de texto previamente generado. El mismo es de formato muy simple debiendo ser encabezado por una línea de título descriptivo, y a partir de la línea siguiente se deben introducir los valores de las energías deseadas apretando la tecla enter para introducir el nuevo valor en la línea siguiente, hasta terminar con el último valor energético.

Si se elige la opción por teclado se presentan otras cuatro opciones diferentes:

1. Puntos equidistantes: En este caso el programa pedirá energía mínima en MeV, energía máxima en MeV y número de puntos energéticos deseados. Posteriormente se generan los puntos energéticos y se imprimen en pantalla, preguntándose al operador si desea cambia los valores generados. En caso de respuesta afirmativa se vuelve al principio de este punto tomando como valores por defecto estos nuevos valores, en caso negativo se continúa con la pantalla siguiente.

2. Puntos no equidistantes: En este caso el programa va pidiendo uno por uno los valores de las energías deseadas; las mismas se introducen en cualquier orden (el programa se encarga de ordenarlas posteriormente de manera creciente) debiéndose terminar con un valor cero como último punto, lo cual solo indicará que se trata del último valor de energía ya que la energía 0 MeV no estará incluida entre los valores energéticos. Posteriormente se generan los puntos energéticos y se imprimen en pantalla, preguntándose al operador si desea cambia los valores generados. En caso de respuesta afirmativa se vuelve al principio de este punto tomando como valores por defecto estos nuevos valores, en caso negativo se continúa con la pantalla siguiente.

3. Escala logarítmica: En este caso se piden los mismos datos que en el caso 1) con la diferencia que los puntos se generan de manera logarítmica. Como en los casos anteriores se generan los puntos energéticos y se imprimen en pantalla, preguntándose al operador si desea cambia los valores generados. En caso de respuesta afirmativa se vuelve al principio de este punto tomando como valores por defecto estos nuevos valores, en caso negativo se continúa con la pantalla siguiente.

4. Subconjunto del presentado como default: En este caso se pide energía mínima en MeV y energía máxima en MeV, y el programa extrae de todos los valores de energía presentados como default aquellos que se encuentren comprendidos entre estos dos valores indicados. Como en los casos anteriores se generan los puntos energéticos y se imprimen en pantalla, preguntándose al operador si desea cambia los valores generados. En caso de respuesta afirmativa se vuelve al principio de este punto tomando como valores por defecto estos nuevos valores, en caso negativo se continúa con la pantalla siguiente.

f. La pantalla siguiente presenta la eficiencia a tener en cuenta por defecto, con la posibilidad de cambiar dicho valor. Si desea cambiar este valor el programa pregunta si se tendrá en cuenta el mismo valor para todos lo detectores; ante respuesta afirmativa se pedirá el único valor a tener en cuenta, y en caso negativo se pedirá introducir una a una las eficiencias correspondientes a cada uno de los detectores. Solo en casos extraordinarios se cambian los valores de las eficiencias, el cual por defecto es 1 para todos los detectores.

g. La pantalla siguiente presenta los valores de las respuestas que se tendrán en cuenta por defecto. En caso de querer cambiar alguno de ellos se debe responder si (s), luego introducir el valor de detector deseado, preguntándose a continuación lo siguiente.

Tiene en cuenta esta respuesta? Este ítem pretende tener en cuenta el caso en que la respuesta de este detector no se incluya ya sea porque no se midió con el mismo o porque de un cálculo anterior se deduzca que dicho valor genera errores muy grandes en el resultado final (tal vez porque la medición presente grandes incertezas).

Posteriormente se presenta la respuesta de la esfera y se pregunta si se desea modificar este valor. El objetivo de este ítem es tener en cuenta el caso en que el operador se halla equivocado de esfera y realmente no quiera hacer ninguna modificación en la misma. A continuación se pide introducir la nueva respuesta, luego de lo cual se vuelven a presentar todos los valores de las respuestas, y se pregunta si se desea hacer alguna modificación. Esta pantalla se presenta hasta que el operador indique que no desea realizar cambios.

Luego de esto pasos el programa realiza los cálculos correspondientes para obtener los archivos que contienen la información deseada. Los datos para obtener la dosis neutrónica se obtienen mediante el análisis del archivo utilizado para la salida de información (el tercero en el orden secuencial indicado en el punto b), mientras que los datos para la graficación de dicho

espectro se encuentran en el archivo de salida para los gráficos (en este caso el cuarto en el orden secuencial indicado en el punto b), que como bien dijimos antes, debido a su estructura puede ser interpretado fácilmente por cualquier programa de graficación.

Con respecto al punto b) es útil hacer ciertas aclaraciones. Luego de introducir los nombres de los archivos solicitados el programa busca si en el directorio en que se está ejecutando el mismo existe alguno de los archivos que se pretenden generar. En caso de existencia de alguno de ellos el programa le preguntará al operador si desea sobrescribir a dicho archivo, realizándose la pregunta para cada uno de los archivos existentes. En caso de contestar que no se desea sobrescribir alguno de ellos el programa informa que se renombre a dicho a archivo y se comience de nuevo, procediendo a terminar la ejecución del programa en curso sin modificar ningún archivo. Esto es una medida de seguridad que garantiza que el operador no sobrescriba ningún archivo por error, ya que existe la posibilidad de que no se haya hecho un backup de datos anteriores.

El caso del archivo de entrada para el LOUHI82 se aleja un poco de esta regla. En caso de respuesta negativa a la pregunta, se le pregunta entonces al operador si desea utilizar a dicho archivo como entrada para la ejecución del LOUHI82. Si la respuesta es sí, entonces se procede al procesamiento de los datos sin pasar por el resto de los pasos descriptos. Si la respuesta es no, en cambio se pregunta si se desea extraer los datos de este archivo. Si la respuesta es no se procede a informar que se renombre al archivo y se comience nuevamente, y como en el caso anterior se procede a terminar la ejecución del programa en curso sin modificar ningún archivo. Si la respuesta fue si, se pedirá entrar el nombre del nuevo archivo de entrada y se continuarán todos los pasos descriptos anteriormente tomando como valores por defecto a aquellos contenidos en el primer archivo.

El objetivo de esto es tener en cuenta dos casos:

1. Podría ser que el operador por alguna causa particular haya generado manualmente el archivo de entrada.
2. Existen casos en los cuales se procede al cálculo de la dosis, y del análisis de los resultados surge que determinado detector hace que la dosis obtenida tenga un gran error. En ese caso es deseable volver a ejecutar los cálculos eliminando esa respuesta. Para lograr esto sin volver a introducir nuevamente todos los datos de la manera ya descripta, se toman como valores por defecto los contenidos en el archivo correspondiente y cuando se pregunta si se desea tener en cuenta esa respuesta simplemente se contesta que no y se dejan el resto de los datos sin modificar. Esto último es lo que sucede cuando se responde que sí en el momento de preguntar si se desean extraer los datos de este archivo.

DOSÍMETROS TLD-700, marcados X201-X300

Tratamiento térmico: 1h , 400 grados; 3 h 100 grados

Lectura: habitual **preheating** **10min, 20ºC (horno externo)**

rampa **10ºC/s**

Tinicial **23ºC**

Tfinal **300ºC**

TLD	L1(nC)	S1	L2(nC)	S2	L3(nC)	S3	Sensibilidad		CV(%)
201	12,90	1,028	9,33	0,975	11,18	1,020	1,007	0,022	2,148
202	13,09	1,043	9,218	0,963	10,78	0,983	0,996	0,031	3,103
203	13,45	1,071	10,05	1,050	11,68	1,065	1,062	0,008	0,760
204	12,83	1,022	9,435	0,986	11,02	1,005	1,004	0,012	1,223
205	12,94	1,031	9,802	1,024	10,92	0,996	1,017	0,014	1,382
206	13,37	1,065	9,921	1,037	11,45	1,044	1,049	0,011	1,042
207	13,38	1,066	10,28	1,074	11,50	1,049	1,063	0,009	0,888
208	13,22	1,053	9,841	1,028	11,51	1,050	1,044	0,010	0,983
209	13,56	1,080	9,631	1,006	10,72	0,978	1,021	0,039	3,836
210	13,03	1,038	9,374	0,980	10,76	0,981	1,000	0,026	2,559
211	12,92	1,029	9,208	0,962	10,92	0,996	0,996	0,022	2,248
212	13,29	1,059	9,86	1,030	11,37	1,037	1,042	0,011	1,069
213	12,85	1,024	9,63	1,006	10,48	0,956	0,995	0,026	2,643
214	12,91	1,028	9,136	0,955	11,13	1,015	0,999	0,030	2,983
215	12,65	1,008	9,32	0,974	10,65	0,971	0,984	0,016	1,586
216	13,46	1,072	9,715	1,015	11,21	1,022	1,037	0,024	2,293
217	12,62	1,005	9,216	0,963	10,52	0,959	0,976	0,020	2,008
218	13,93	1,110	10,21	1,067	11,36	1,036	1,071	0,026	2,416
219	12,98	1,034	10,38	1,085	11,40	1,040	1,053	0,021	2,019
220	12,25	0,976	9,187	0,960	10,28	0,938	0,958	0,014	1,410
221	12,75	1,016	9,9	1,034	11,10	1,012	1,021	0,009	0,892
222	13,29	1,059	9,479	0,990	10,80	0,985	1,011	0,032	3,118
223	11,92	0,950	8,424	0,880	10,51	0,958	0,929	0,033	3,528
224	13,31	1,060	9,419	0,984	11,28	1,029	1,024	0,027	2,615
225	12,88	1,026	9,898	1,034	11,25	1,026	1,029	0,004	0,357
226	11,14	0,887	7,834	0,819	9,109	0,831	0,846	0,028	3,298
227	12,23	0,974	9,28	0,970	10,72	0,978	0,974	0,003	0,285
228	13,18	1,050	10,48	1,095	11,30	1,031	1,059	0,024	2,303
229	12,43	0,990	9,6	1,003	11,25	1,026	1,006	0,013	1,296
230	12,62	1,005	8,924	0,932	10,03	0,915	0,951	0,036	3,818
231	12,71	1,012	8,967	0,937	10,95	0,999	0,983	0,030	3,101
232	12,87	1,025	10,19	1,065	10,44	0,952	1,014	0,041	4,071
233	12,45	0,992	9,908	1,035	10,23	0,933	0,987	0,036	3,629
234	12,94	1,031	9,578	1,001	10,88	0,992	1,008	0,015	1,510
235	12,47	0,993	9,6	1,003	10,39	0,948	0,981	0,023	2,295
236	12,46	0,993	9,119	0,953	10,48	0,956	0,967	0,017	1,757

237	12,89	1,027	9,563	0,999	---	0,000	0,675	0,450	66,667
238	12,76	1,016	9,93	1,038	10,94	0,998	1,017	0,014	1,334
239	12,20	0,972	9,208	0,962	10,69	0,975	0,970	0,005	0,514
240	12,52	0,997	9,438	0,986	10,73	0,979	0,987	0,007	0,673
241	13,01	1,036	9,235	0,965	10,49	0,957	0,986	0,034	3,405
242	11,94	0,951	8,911	0,931	10,53	0,960	0,948	0,011	1,153
243	11,96	0,953	8,582	0,897	11,04	1,007	0,952	0,037	3,875
244	12,19	0,971	9,526	0,995	11,03	1,006	0,991	0,013	1,329
245	12,94	1,031	9,498	0,992	11,06	1,009	1,011	0,013	1,329
246	12,34	0,983	9,155	0,957	10,17	0,927	0,956	0,019	1,968
247	13,65	1,087	9,134	0,954	11,13	1,015	1,019	0,046	4,475
248	12,99	1,035	9,834	1,028	10,76	0,981	1,015	0,022	2,185
249	13,38	1,066	10,61	1,109	11,36	1,036	1,070	0,026	2,398
250	13,16	1,048	10,36	1,083	11	1,003	1,045	0,028	2,648
251	12,35	0,984	9,742	1,018	11,01	1,004	1,002	0,012	1,209
252	12,37	0,985	9,601	1,003	10,86	0,990	0,993	0,007	0,686
253	12,67	1,009	9,489	0,992	11,3	1,031	1,010	0,013	1,326
254	12,31	0,981	9,759	1,020	10,31	0,940	0,980	0,027	2,717
255	12,76	1,016	9,518	0,995	10,72	0,978	0,996	0,013	1,354
256	12,66	1,008	9,58	1,001	10,75	0,980	0,997	0,011	1,087
257	12,37	0,985	9,14	0,955	10,33	0,942	0,961	0,016	1,703
258	12,97	1,033	9,727	1,016	10,87	0,991	1,014	0,015	1,467
259	14,07	1,121	9,95	1,040	11,27	1,028	1,063	0,039	3,640
260	12,89	1,027	9,858	1,030	10,75	0,980	1,012	0,021	2,110
261	11,87	0,946	9,937	1,038	10,39	0,948	0,977	0,041	4,175
262	12,06	0,961	9,222	0,964	10,58	0,965	0,963	0,002	0,165
263	13,05	1,040	9,516	0,994	11,04	1,007	1,014	0,017	1,708
264	13,19	1,051	9,623	1,006	11,27	1,028	1,028	0,015	1,471
265	12,55	1,000	9,684	1,012	10,79	0,984	0,999	0,010	0,969
266	12,41	0,989	9,873	1,032	11,09	1,011	1,011	0,015	1,449
267	11,67	0,930	9,011	0,942	10,38	0,947	0,939	0,006	0,686
268	12,75	1,016	9,053	0,946	10,91	0,995	0,986	0,026	2,676
269	12,03	0,958	9,655	1,009	10,86	0,990	0,986	0,018	1,864
270	12,41	0,989	9,446	0,987	11,92	1,087	1,021	0,044	4,322
271	12,96	1,032	10,78	1,126	11,32	1,032	1,064	0,042	3,930
272	11,73	0,934	10,59	1,107	11,33	1,033	1,025	0,060	5,878
273	11,89	0,947	9,731	1,017	11,28	1,029	0,998	0,034	3,369
274	12,98	1,034	10,38	1,085	12,54	1,144	1,087	0,037	3,447
275	12,70	1,012	9,126	0,954	10,71	0,977	0,981	0,021	2,107
276	12,50	0,996	9,233	0,965	10,79	0,984	0,982	0,011	1,137
277	11,87	0,946	10,18	1,064	11,25	1,026	1,012	0,044	4,362
278	12,60	1,004	9,332	0,975	10,71	0,977	0,985	0,012	1,253
279	12,70	1,012	9,9665	1,041	10,76	0,981	1,011	0,020	1,988
280	11,88	0,946	9,865	1,031	10,74	0,979	0,986	0,030	3,062
281	12,41	0,989	9,554	0,998	11,05	1,008	0,998	0,006	0,644
282	11,63	0,926	9,37	0,979	11,34	1,034	0,980	0,036	3,693
283	12,40	0,988	9,937	1,038	12,01	1,095	1,040	0,037	3,513
284	11,33	0,903	9,642	1,008	10,97	1,000	0,970	0,045	4,647
285	12,09	0,963	9,626	1,006	11,06	1,009	0,993	0,020	1,978
286	12,33	0,982	10,19	1,065	11,44	1,043	1,030	0,032	3,100
287	12,24	0,975	9,543	0,997	11,03	1,006	0,993	0,012	1,187
288	11,56	0,921	9,369	0,979	11,52	1,051	0,983	0,045	4,550
289	12,06	0,961	9,512	0,994	11,37	1,037	0,997	0,026	2,657

290	12,24	0,975	9,113	0,952	11,56	1,054	0,994	0,040	4,053
291	11,60	0,924	8,967	0,937	10,16	0,927	0,929	0,005	0,558
292	11,7	0,932	9,562	0,999	10,75	0,980	0,971	0,026	2,645
293	11,72	0,934	9,53	0,996	10,28	0,938	0,956	0,027	2,802
294	11,43	0,910	9,835	1,028	11,02	1,005	0,981	0,047	4,795
295	12,20	0,972	9,161	0,957	10,41	0,949	0,959	0,008	0,858
296	12,28	0,978	9,301	0,972	11,84	1,080	1,010	0,047	4,609
297	11,69	0,931	9,194	0,961	11,27	1,028	0,973	0,036	3,738
298	11,96	0,953	9,386	0,981	11,91	1,086	1,007	0,053	5,274
299	12,30	0,980	9,904	1,035	11,87	1,083	1,032	0,035	3,397
300	11,76	0,937	9,42	0,750	11,37	1,037	0,908	0,105	11,574
promedio	12,554		9,570		10,965				

C A P Í T U L O 7

PROCEDIMIENTO PARA EL TRATAMIENTO DE PERSONAS ACCIDENTALMENTE SOBREEXPUESTAS

1. CONTAMINACIÓN EXTERNA

CONTENIDO

1.1. INTRODUCCIÓN
1.2. CONSIDERACIONES GENERALES
1.3. CONTAMINACIÓN RADIACTIVA EXTERNA
1.3a. - Contaminación externa sin lesión en piel
1.3b. - Contaminación externa con herida

1.4. PROCEDIMIENTOS PARA LA ASISTENCIA DE PERSONAS CONTAMINADAS

1.5 SECUENCIA DE ACCIONES EN CASO DE CONTAMINACIÓN EXTERNA SIN LESIÓN EN PIEL

1.6. TRATAMIENTO DESCONTAMINANTE
1.6a. - Procedimiento descontaminante no específico
1.6b. - Procedimiento descontaminante específico
1.6b.1. Actínidos, lantánidos, cobalto, uranio, yodo
1.6b.2. Mezcla de productos de fisión
1.6b.3. Fósforo

1.7. DESCONTAMINACIÓN DE CARA

1.8. DESCONTAMINACIÓN DE CABELLOS

1.9. DESCONTAMINACIÓN DE OJOS

1.10. DESCONTAMINACIÓN DE OROFARINGE

1.11. TRATAMIENTO DESCONTAMINANTE BAJO SUPERVISIÓN MÉDICA
1.11a. - Tratamiento descontaminante de fosas nasales
1.11b. - Descontaminación de oídos

1.12. TRATAMIENTO DESCONTAMINANTE DE HERIDAS
1.12a. - Herida contaminada con actínidos o lantánidos
1.12b. - Herida contaminada con sales de cromo o manganeso
1.12c. - Herida contaminada con estroncio
1.12d. - Herida contaminada con productos de fisión
1.12e. - Herida contaminada con uranio
1.12f. - Herida contaminada con cobalto
1.12g. - Herida contaminada con otros radionucleidos

1.13. MEDIDAS DE EVACUACIÓN

Anexo SOLUCIONES DESCONTAMINANTES

1.1. Introducción

En la actualidad, debido al incremento en la utilización de elementos radiactivos en distintos campos de la industria, medicina, investigación, enseñanza, etc., existe un aumento en el riesgo potencial de ocurrencia de accidentes o incidentes en los que están involucradas las radiaciones ionizantes. Los accidentes o incidentes tienen lugar esencialmente durante la producción, transporte o utilización de esos materiales.

En situaciones de emergencia radiológica se impone una rápida respuesta orientada a limitar la exposición de las personas, mitigar las consecuencias del accidente y restablecer las condiciones de normalidad.

Accidente radiológico: Se lo define como todo suceso con capacidad de producir una sobreexposición, es decir toda irradiación o contaminación capaz de hacer que se superen los límites máximos fijados por la reglamentación vigente.

Incidente radiológico: Se distingue del accidente en que la exposición externa o interna no lleva a superar los valores límites.

TIPOS DE ACCIDENTES RADIOLÓGICOS

Se distinguen dos grandes tipos de accidentes radiológicos:

a. Irradiación externa

b. Contaminación radiactiva: Externa
Interna

a. Irradiación externa

La fuente de irradiación permanece en el exterior del organismo irradiado.

Puede producirse por:

- Radiación fotónica: rayos x ó gamma.
- Partículas: electrones, protones, neutrones, etc.
- Mixta: fotónica más partículas.

Según su extensión puede ser:

- Global (todo el cuerpo).
- Parcial (irradiación de cabeza o tronco).
- Localizada (irradiación de extremidades).

b. Contaminación radiactiva

Contaminación radiactiva externa: la sustancia radiactiva se deposita sobre la superficie exterior del cuerpo (piel, anexos, mucosas) desde la cual lo irradia.

Contaminación radiactiva interna: la sustancia radiactiva penetra al organismo por diferentes vías (digestiva, inhalatoria, lesiones cutáneas o piel intacta), se distribuye en los fluidos corporales produciendo una irradiación interna.

En ambos casos existe urgencia terapéutica, dado que al reducir la contaminación se reduce la dosis y sus posibles efectos.

La contaminación radiactiva puede ocurrir en diversas situaciones tales como:

a. Accidentes nucleares con liberación de productos de fisión.

b. Violación de procedimientos que regulan el trabajo con sustancias radiactivas, particularmente en forma de soluciones o polvos.

c. Rupturas accidentales de fuentes selladas.

d. Errores en la dosificación de radionucleidos con fines diagnósticos o terapéuticos.

e. Accidentes ocurridos durante el ciclo de extracción, procesamiento, gestión o transporte de material radiactivo.

En tales circunstancias las consecuencias radiológicas pueden limitarse a trabajadores ocupacionalmente expuestos o bien pueden comprometer a miembros del público.

1.2. Consideraciones generales

a. La secuencia de acciones a tomar desde el punto de vista médico debe responder a una premisa básica: toda situación que ponga en riesgo la vida del paciente tendrá prioridad absoluta respecto de las consideraciones vinculadas con la exposición externa o contaminación interna con radionucleidos. Por lo tanto, la primera medida es determinar si el accidentado presenta compromiso de sus funciones vitales: circulatoria, respiratoria, neurológica o traumatismos severos, en cuyo caso la prioridad es estabilizar al paciente antes de iniciar cualquier otro tratamiento.

b. Una vez estabilizado el paciente, las acciones terapéuticas serán diferentes si se trata de una irradiación externa o de una contaminación radiactiva.

Recordar: **La irradiación externa, plantea urgencia dosimétrica.**
La contaminación radiactiva, urgencia terapéutica.

La prioridad es el tratamiento del individuo contaminado con la finalidad de reducir rápidamente la dosis a fin de evitar la ocurrencia de efectos determinísticos y disminuir la probabilidad de efectos estocásticos. En el caso de la irradiación externa lo prioritario es la estimación de la dosis absorbida a fin de establecer un pronóstico evolutivo.

c. Los tratamientos descontaminantes son más efectivos si se inician precozmente después de ocurrida la contaminación. El objetivo del tratamiento es eliminar el radionucleido específico de la puerta de entrada y prevenir su transferencia a los tejidos sistémicos. Las posibles puertas de entrada son: digestiva, inhalatoria, piel sana, heridas.

d. La toma de muestras se debe realizar antes del lavado, ducha o cualquier otro tratamiento descontaminante.

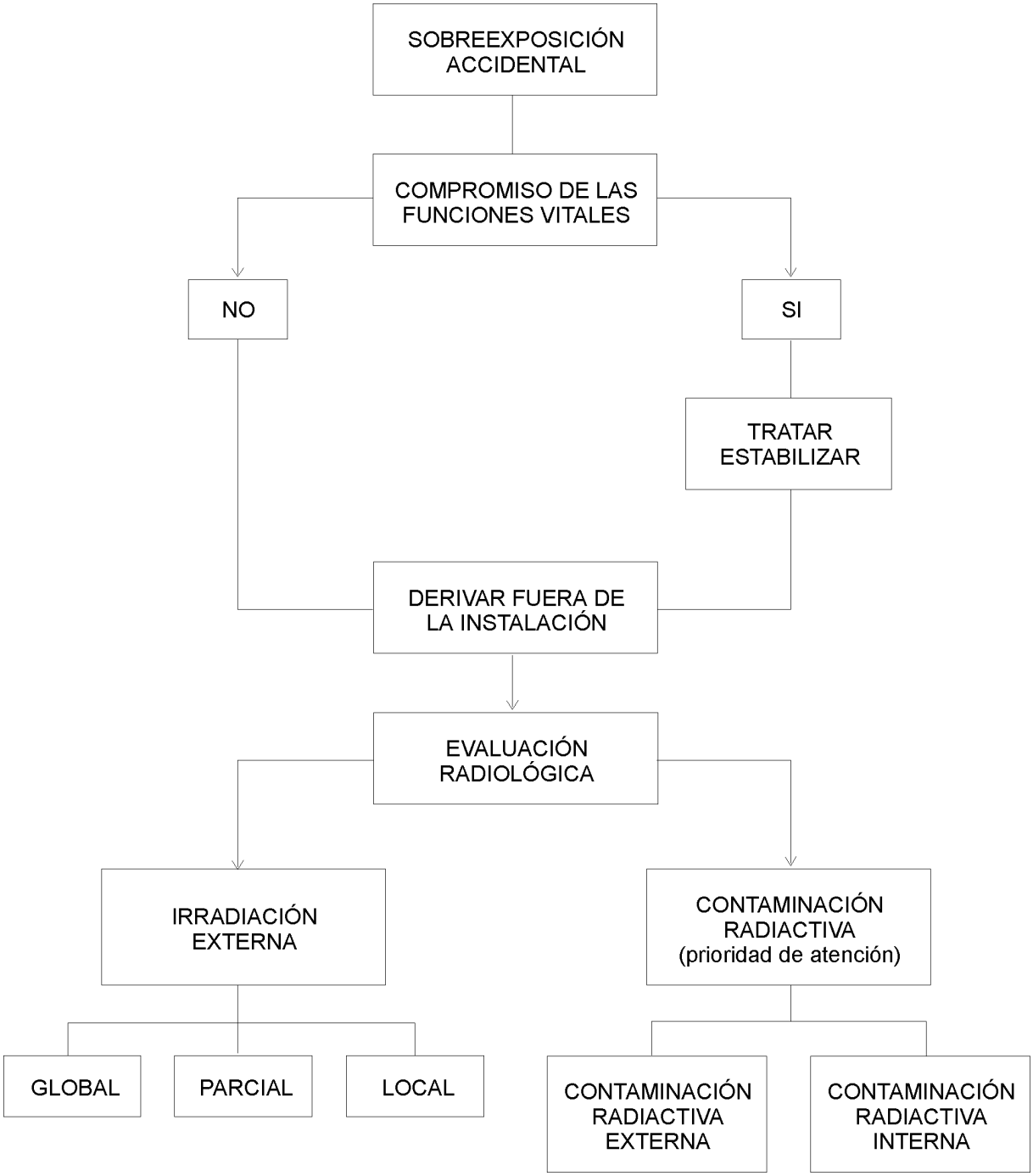
De acuerdo al tipo de accidente se tomarán distintos tipos de muestras: mucus nasal, esputo, heridas, orina, heces, sangre, etc. Todas las muestras deberán ser cuidadosamente protegidas en envases adecuados que eviten la contaminación cruzada de las mismas, rotuladas con nombre y apellido del accidentado, fecha, hora y lugar de la toma.

e. Los líquidos de lavado, compresas, vestimentas y todo lo que esté en contacto con la piel debe ser colectado en recipientes rotulados, para la posterior identificación y medición del radionucleido contaminante.

f. Al finalizar cada uno de los pasos del procedimiento descontaminante se debe monitorear el área tratada con el fin de evaluar la eficacia del tratamiento y determinar si es necesario o no continuar con el mismo. El resultado de cada nuevo monitoreo debe ser registrado en la ficha del paciente.

g. Se debe evitar la extensión de la contaminación en el mismo paciente y a otras personas u objetos.

h. Evitar la abrasión de la piel y el uso de productos que puedan facilitar el pasaje del material contaminante a través de la misma. Comenzar con los agentes menos irritantes, aplicar técnicas o procedimientos más abrasivos sólo si es absolutamente necesario.



1.3. Contaminación radiactiva externa

Se mencionó anteriormente que la contaminación externa se produce cuando el material radiactivo se deposita sobre la superficie del cuerpo, produciendo una exposición externa. La contaminación de la piel y mucosas es uno de los riesgos asociados con el manejo de sustancias radiactivas. El propósito de este documento es el de abordar la problemática de la contaminación externa con la inclusión de algunas recomendaciones, de aplicación práctica, para la evaluación y tratamiento de pacientes contaminados.

En caso de contaminación externa verificar:

- Estado de la piel (con o sin lesiones).
- Identificar: Radionucleido contaminante.
  Forma (física y química).
  Actividad depositada.

En la contaminación externa se pueden considerar las siguientes posibilidades:

1.3a. Contaminación externa sin lesión en piel

1.3b. Contaminación externa con herida

1.3a. CONTAMINACIÓN EXTERNA SIN LESIÓN EN PIEL

1.3a.1. Objetivos del tratamiento descontaminante

- Remover el radionucleido para reducir la tasa de dosis y prevenir su incorporación.
- Mejorar la exactitud de contaje en el contador de todo el cuerpo cuando se requiere estimar la carga interna del radionucleido contaminante.

1.3a.2. Principios para la descontaminación de la piel

1. Uno de los mayores problemas en el manejo temprano de personas contaminadas con radionucleidos es el conocimiento de la extensión y magnitud de la contaminación externa.

Existe una variedad de técnicas bien desarrolladas y de instrumentación específica para la detección y medición de la radiación. El personal médico y paramédico destinado a la asistencia de pacientes contaminados debería familiarizarse con estas técnicas. Si bien el monitoreo de la contaminación debe ser llevado a cabo por personal especialmente entrenado para ello, debe existir una adecuada interacción entre los distintos grupos afectados a la intervención.

Si son varios los individuos en los que se sospecha una sobreexposición accidental se deberá realizar una clasificación de las víctimas (“triage”). El triage implica consideraciones médicas y radiológicas. El triage médico está relacionado con la evaluación clínica de los pacientes con lesiones de distinto grado de severidad. Toda condición que implique compromiso de las funciones vitales deberá ser considerada de manera prioritaria. El triage radiológico resultante del monitoreo permitirá separar inicialmente dos grupos: un grupo de individuos sin contaminación externa detectable y un grupo con contaminación de piel sana o heridas. En la etapa de triage puede ser difícil evaluar la contaminación interna. En caso de contaminación importante puede ser útil el monitoreo de muestras de orina.

2. La determinación del tratamiento inicial está basada en el conocimiento del metabolismo de los compuestos químicos, así como toda la información disponible sobre características del accidente, probables radionucleidos involucrados o identificación temprana de radionucleidos por espectrometría u otras mediciones radiológicas. Se deberá considerar el tipo de instrumental requerido de acuerdo a los radionucleidos involucrados: detectores alfa, beta o gamma o cualquier combinación de ellos.

3. En muchos casos de contaminación cutánea con materiales radiactivos, la descontaminación es realizada por personal no médico presente en el escenario del accidente (oficiales de radioprotección).

   En todos los casos de contaminación dar aviso al servicio médico de la instalación.

4. El médico debe evaluar la contaminación residual, eficacia del tratamiento descontaminante y condición de la piel. Estos factores pueden modificar la determinación del tipo de tratamiento. El médico debe decidir cuando continuar con la descontaminación y cuando es imprudente proseguir. La finalidad es remover la mayor cantidad posible del material contaminante sin agredir seriamente la piel.
5. Evitar la extensión de la contaminación, la abrasión de la piel y el uso de productos que puedan facilitar el pasaje de material a través de la misma.

1.3b. CONTAMINACIÓN EXTERNA CON HERIDA

Se hace referencia a heridas o quemaduras contaminadas. En presencia de una herida contaminada se deberá considerar la posible contaminación interna, por lo tanto se debe realizar el tratamiento de la herida contaminada y simultáneamente el de la contaminación interna.
En estos casos se debe realizar una evaluación inicial de:

a. Severidad de la injuria

En primer lugar se debe realizar el tratamiento de emergencia de la injuria:

- Controlar la hemorragia.
- Tratar el shock.

b. Nivel de contaminación

Después del tratamiento de emergencia, el primer paso en la descontaminación de la herida es determinar el sitio contaminado. Con emisores beta energéticos o gamma, esta determinación es relativamente sencilla siendo más dificultosa cuando se trata de un contaminante emisor beta débil o alfa.

Tener en cuenta que en algunos casos la remoción de la contaminación requiere de tratamiento quirúrgico.

c. Captación y deposición del contaminante

La captación a través de una herida a la circulación general o la deposición en nódulos linfáticos regionales es de gran importancia.

Los factores que determinan la velocidad de movimiento del radionucleido a través de la herida son: características físico-químicas, solubilidad, ph, reactividad del tejido, tamaño de partícula, etc. Si el contaminante está en un estado altamente ácido o cáustico, puede determinar la coagulación de las proteínas tisulares y disminuir la difusión del contaminante dentro de los fluidos tisulares.

Radionucleidos de vida larga, como por ejemplo plutonio 239 ó estroncio 90 son de gran importancia, por que ellos continúan irradiando las células que rodean la herida o en el caso de pasar la barrera cutánea producen irradiación de órganos internos.

d. Clasificación de injurias en piel

Abrasiones

Presentan frecuentemente depilación y sangrado, y la barrera epidérmica no está intacta, por lo que representa un potencial considerable para la absorción del contaminante desde la superficie.

Estas superficies pueden ser lavadas con un detergente.

Si es necesario, aplicar un anestésico tópico (lidocaína 4%) para permitir un lavado más riguroso. Luego de haber realizado un esfuerzo razonable, no es necesario continuar para remover toda la contaminación residual de la superficie.

Permitir la formación de la escara, y cuando ésta se desprende espontáneamente, debe ser conservada para su posterior medición.

Punciones

Pueden ser causadas por metales o astillas de vidrio contaminadas, herramientas pequeñas o accidentes con agujas hipodérmicas durante una inyección.

La localización exacta del sitio contaminado, puede ser dificultosa.

Laceraciones

Una laceración realizada superficialmente con un objeto afilado contaminado, presenta menor dificultad para detectar la zona contaminada de la herida y luego descontaminarla.

Frecuentemente, gran parte de la contaminación se deposita sobre los bordes de la herida. En el caso de laceraciones rasgadas y profundas, la contaminación puede depositarse en los planos profundos, con la consiguiente migración, siendo en este caso más dificultosa la detección y su posterior descontaminación.

Quemaduras

Las quemaduras contaminadas presentan un potencial considerable para la absorción de radionucleidos desde la superficie.

La superficie presenta depilación y sangrado, y la barrera epidérmica no está intacta.

Tener en cuenta:

- Extensión de la quemadura.
- Gravedad de la contaminación.

Primero se debe tratar la quemadura. El tratamiento de la contaminación se realiza de manera similar a la indicada para heridas contaminadas.

En el caso de quemaduras contaminadas con compuestos insolubles, estos podrán ser eliminados con la escara.

En algunos casos se pueden colocar vendajes en los primeros días, para dejar que el contaminante sea eliminado con las costras o por el mismo vendaje.

3b.1. Manejo de pacientes con heridas contaminadas

1. Cuando se produce contaminación de la superficie externa del cuerpo, verificar si el accidentado presenta heridas.

2. Si la condición del paciente requiere de primeros auxilios o terapia médica por serias complicaciones, esto será prioritario por sobre la descontaminación.

En los casos de contaminación de la superficie externa y/o sospecha de contaminación interna es prioritario el tratamiento descontaminante, excepto que las injurias sobre las funciones vitales exijan su tratamiento inmediato para salvar la vida del accidentado. El tiempo durante el cual la aplicación del tratamiento descontaminante pospone la atención médica del traumatismo y/o la emergencia, es una decisión que debe adoptar el médico responsable de la intervención.

Prioridad: **Tratar el compromiso de las funciones vitales.**
Estabilizar al paciente.

3. En presencia de una herida contaminada, tener en cuenta:

a. Tratamiento descontaminante de la herida.

b. Evaluar la posible contaminación interna.

1.4. Procedimientos para la asistencia de personas contaminadas con material radiactivo

1.4a. OBJETIVOS

Enumerar la distribución de medidas y responsabilidades para la asistencia de personas contaminadas con material radiactivo de acuerdo al sitio de asistencia y grupos de intervención.

1.4b. INDICACIONES GENERALES

- El tratamiento de las contaminaciones implica la aplicación de un conjunto de medidas y distribución de responsabilidades dentro del grupo de intervención.
- Tan pronto como se reconoce una situación anormal por contaminación, el personal responsable de la intervención debe definir la secuencia de acciones a realizar.
- El tratamiento médico para preservar la vida tiene prioridad sobre el tratamiento descontaminante, no obstante cuando se sospecha una contaminación se debe realizar inmediatamente la mejor evaluación de la misma y simultáneamente considerar la posibilidad de aplicar tratamiento descontaminante precoz.

De acuerdo a las circunstancias, las medidas descontaminantes pueden ser aplicadas en:

- Instalación.
- Servicio médico de la instalación.
- Centro de derivación.

1.4c. TRATAMIENTO DESCONTAMINANTE EN UNA INSTALACIÓN

1.4c.1. Tareas del personal de protección radiológica de la instalación

El personal de protección radiológica de la instalación debe:

- Preparar un sitio adecuado en la instalación para la asistencia del personal contaminado. Disponer y mantener en condiciones de uso, equipos de medición, materiales y botiquín para la descontaminación.
- Designar y capacitar al personal de la instalación para participar bajo su dirección en la aplicación de las primeras medidas de la intervención.
- En caso de traumatismos y/o emergencias médicas notificar al servicio médico para su intervención.

Cuando se produzca contaminación en la superficie externa del cuerpo o se sospeche una contaminación interna se debe realizar la descontaminación, siempre que no exista daño sobre órganos vitales que pongan en peligro la vida del paciente.

1.5. Secuencia de acciones en caso de contaminación externa sin lesión en piel

Cuando se produce contaminación de la superficie externa del cuerpo y el individuo no presenta lesiones en piel se debe:

1. Delimitar por monitoreo el área contaminada. Analizar la necesidad de lavar parte o todo el cuerpo con ducha flexible. Evitar la extensión de la contaminación.

2. Controlar los movimientos del contaminado con el propósito de evitar la contaminación de otras partes del cuerpo y su dispersión a otras personas y objetos.

3. Cuando la contaminación se localiza en oído y/o nariz, trasladar al accidentado al servicio médico para su descontaminación.

4. Si la contaminación de la piel intacta se localiza en el cuerpo, cara, cabellos, ojos, boca, garganta, trasladar al contaminado hasta el lugar de la instalación destinado a la descontaminación.

5. Cambiar la vestimenta contaminada por otra limpia.

6. Tomar muestra de soplado nasal.

7. Monitorear la piel antes y después de cada paso para evaluar la acción descontaminante.

8. Detener la descontaminación, después de cualquiera de los pasos indicados en el proceso de descontaminación externa cuando el nivel de contaminación residual sea del orden de:

3,7 $Bq.cm^{-2}$ (10^{-4} $\mu Ci.cm^{-2}$) para emisores beta-gamma
0,37 $Bq.cm^{-2}$ (10^{-5} $\mu Ci.cm^{-2}$) para emisores alfa

Además, se debe realizar una evaluación del estado de la piel después de cada procedimiento descontaminante y en caso de observar signos de importante irritación cutánea se indica la suspensión del procedimiento descontaminante.

En ausencia de estos signos de compromiso cutáneo es difícil determinar un valor aceptable de contaminación residual a partir del cual se debe suspender la descontaminación. Establecer un valor fijo requiere de una serie de consideraciones que pueden ser motivo de errores. Se debe tener en cuenta que la tasa de contaje depende de la ubicación de la sonda con respecto a la superficie contaminada, por lo tanto es necesario poner especial cuidado en la posición del detector de manera que en cada monitoreo se respete su ubicación anterior. También se deben tener en cuenta otros factores, tales como localización y distribución de la contaminación, forma físico-química del radionucleido contaminante. Todo esto nos lleva a considerar que no es conveniente establecer niveles arbitrarios de contaminación que deben alcanzarse antes de dar por finalizado el procedimiento descontaminante.

Sin embargo, los valores citados anteriormente 3,7 $Bq.cm^{-2}$ y 0,37 $Bq.cm^{-2}$ (10^{-4} $\mu Ci.cm^{-2}$ y 10^{-5} $\mu Ci.cm^{-2}$) pueden servir como valores de referencia con fines prácticos.

Finalmente, la decisión de continuar o no con el tratamiento descontaminante será el resultado de un correcto balance costo-beneficio entre la contaminación residual y la injuria en piel.

9. En todos los casos, sea cual fuere el nivel de contaminación residual alcanzado, trasladar al accidentado al SERVICIO MÉDICO para examinar la superficie tratada y/o completar la asistencia.

1.6. Tratamiento descontaminante

1.6a. PROCEDIMIENTO DESCONTAMINANTE NO ESPECÍFICO

Los procedimientos aplicados para la descontaminación deberán ser realizados con cuidado, especialmente cuando se trata de piel dañada.

Los movimientos descontaminantes se realizarán de afuera hacia adentro, en el área contaminada, evitando contaminar zonas libres de contaminación.

Etapa 1

a. Lavar la piel con jabón líquido ácido y abundante cantidad de agua tibia.

b. Frotar suavemente utilizando brocha de afeitar o esponja de poliuretano, formando espuma, durante 3 minutos.

Poner especial cuidado en la limpieza de uñas, bordes externos de manos y espacios interdigitales.

c. Secar con papel absorbente.

d. Monitorear la superficie contaminada, líquidos de lavado y papel de secado.
Si persistiera un nivel de contaminación residual:

Mayor que 3,7 $Bq.cm^{-2}$ (10^{-4} $\mu Ci.cm^{-2}$) para emisores beta-gamma.
Mayor que 0,37 $Bq.cm^{-2}$ (10^{-5} $\mu Ci.cm^{-2}$) para emisores alfa.

Repetir esta etapa 2 veces más.

Si persiste el nivel de contaminación residual indicado anteriormente, continuar con la etapa 2.

Etapa 2

a. Humedecer la superficie contaminada con agua tibia.

Frotar suavemente con permanganato de potasio al 5% en solución acuosa recién preparada, utilizando brocha de afeitar o cepillo de cerda suave, durante 2 minutos. Se trata de una solución oxidante que remueve la capa córnea de la piel, no recomendada para decontaminar la cara ni orificios naturales.

b. Decolorar la piel inmediatamente con hiposulfito de sodio al 5% en solución acuosa recién preparada, frotando suavemente con esponja o cepillo.

c. Enjuagar con abundante agua tibia.

d. Secar con papel absorbente.

e. Monitorear el área contaminada, líquido de lavado y el papel de secado.

f. Si persiste un nivel de contaminación residual

Mayor que 3,7 $Bq.cm^{-2}$ (10^{-4} $\mu Ci.cm^{-2}$) para emisores beta-gamma
Mayor que 0,37 $Bq.cm^{-2}$ (10^{-5} $\mu Ci.cm^{-2}$) para emisores alfa

Repetir la operación.

La descontaminación con permanganato de potasio puede ser repetida hasta 3 veces, respetando la integridad de la epidermis.

Si persiste el nivel de contaminación residual indicado arriba, continuar con la etapa 3.

Etapa 3

a. Humedecer la piel con agua tibia y luego frotar con una esponja embebida con la solución complejante (solución de EDTA), durante 1 minuto.

b. Enjuagar con agua tibia.

c. Secar con papel absorbente.

d. Monitorear la piel, líquido de lavado y papel de secado.

e. Si el nivel de contaminación residual es:

Mayor que 3,7 $Bq.cm^{-2}$ (10^{-4} $\mu Ci.cm^{-2}$) para emisores beta-gamma
Mayor que 0,37 $Bq.cm^{-2}$ (10^{-5} $\mu Ci.cm^{-2}$) para emisores alfa

Repetir esta operación hasta 3 veces.

Si los niveles de contaminación residual no son aceptables continuar con la etapa 4.

Etapa 4

a. Humedecer la piel con solución de hipoclorito de sodio al 1% y frotar suavemente con esponja durante 2 minutos.

b. Enjuagar con abundante agua tibia.

c. Secar con papel absorbente.

d. Monitorear piel, líquido de lavado y papel de secado.

e. Si el nivel de contaminación residual es:

Mayor que 3,7 $Bq.cm^{-2}$ (10^{-4} $\mu Ci.cm^{-2}$) para emisores beta-gamma
Mayor que 0,37 $Bq.cm^{-2}$ (10^{-5} $\mu Ci.cm^{-2}$) para emisores alfa

Repetir la operación.

Etapa 5

Si persiste la contaminación, cubrir la zona con lanolina y colocar vendaje oclusivo.

En el caso de contaminación de dedos o manos, aplicar lanolina y cubrir con guante de algodón, colocando por encima de éste un guante de goma.

Dejar durante 24 horas a 48 horas. Se crea de este modo un gradiente osmótico que facilita la salida del radionucleido desde la piel al exterior

Quitar el vendaje o guante, medir la contaminación residual en piel, y si es necesario repetir la descontaminación.

- Finalizada la descontaminación tratar la piel con cremas dermoprotectoras (Dermaglós MR) cubrir con gasa estéril.
- En contaminaciones circunscriptas colocar tela adhesiva o tela film. Cambiar varias veces, cinco o seis. Medir.

1.6b. PROCEDIMIENTO DESCONTAMINANTE ESPECÍFICO

1.6b.1. Actínidos, lantánidos, cobalto, uranio, yodo

a. Lavar la piel con jabón líquido ácido y abundante cantidad de agua tibia.

b. Frotar suavemente utilizando brocha de afeitar o esponja de poliuretano, formando espuma, durante 3 minutos.

Poner especial cuidado en la limpieza de uñas, bordes externos de manos y espacios interdigitales.

c. Secar con papel absorbente.

d. Monitorear la superficie contaminada, líquidos de lavado y papel de secado.

Si persistiera un nivel de contaminación residual:

Mayor que 3,7 $Bq.cm^{-2}$ (10^{-4} $\mu Ci.cm^{-2}$) para emisores beta-gamma
Mayor que 0,37 $Bq.cm^{-2}$ (10^{-5} $\mu Ci.cm^{-2}$) para emisores alfa

Repetir esta etapa 3 veces.

e. Si los niveles de contaminación residual siguen siendo superiores a los anteriormente citados proceder a la descontaminación específica.

Descontaminación Específica

ACTINIDOS LANTÁNIDOS COBALTO	**Lavados con DTPA-Ca al 1%.**

URANIO	**Lavados con solución BICARBONATADA al 1,4%.**

YODO	**Lavados con solución de LUGOL. Luego decolorar con hiposulfito de sodio al 1%.**

f. Para el resto seguir las etapas enumeradas en el procedimiento descontaminante.

1.6b.2. Mezcla de productos de fisión

Cesio Estroncio Cerio Yodo	**Lavar con DTPA-Ca al 1%. Administrar 130 mg de ioduro de potasio, por vía bucal.**

1.6b.3. Fósforo (P^{32})

Fósforo	**Lavar con solución de ácido acético (ph 4-5) o simplemente con vinagre común. Enjuagar con abundante agua tibia.**

1.7. Descontaminación de cara

Evitar la dispersión del contaminante a otras partes del cuerpo. Cubrir cuello y tronco de la persona contaminada con ropa limpia.

Evitar la contaminación de puertas de entrada, boca, nariz, ojos, para prevenir la incorporación del radionucleido.

Procedimiento

1. Frotar suavemente con brocha de afeitar o esponja humedecida con agua tibia y jabón líquido ácido, formando espuma durante 3 minutos.
2. Enjuagar con abundante agua tibia.
3. Secar con papel absorbente.
4. Monitorear la superficie tratada, líquidos de lavado y papel de secado.
   Si es necesario repetir 2 veces el procedimiento anterior.
5. Frotar suavemente con esponja humedecida en solución de ácido cítrico al 3% evitando la contaminación de boca, nariz, ojos, etc.
   Enjuagar con agua tibia.
6. Secar con papel absorbente.
7. Monitorear la superficie tratada, líquidos de lavado y papel de secado.
   Si es necesario repetir 2 veces el lavado con ácido cítrico al 3%.
8. Frotar suavemente con esponja humedecida con solución complejante.
   Evitar la contaminación de boca, nariz, ojos, etc.
   Enjuagar con agua tibia.
9. Secar con papel absorbente.
10. Monitorear el área tratada, líquidos de lavado y papel de secado.
    Si es necesario repetir 2 veces el lavado con solución complejante.

No usar en cara soluciones de:	PERMANGANATO DE POTASIO HIPOSULFITO DE SODIO HIPOCLORITO DE SODIO

1.8. Descontaminación de cabellos

Evitar la contaminación de otras partes del cuerpo, cubriendo cuello y tronco del contaminado con ropa limpia.

Posición para la descontaminación de cabellos:

Extender la cabeza hacia atrás del eje del cuerpo sobre un soporte apoyacabezas igual al utilizado para el lavado convencional de los mismos.

Procedimiento

1. Lavar el cabello con abundante agua tibia y champú.
Enjuagar con agua tibia.

Realizar tantos lavados como sea necesario.

Después de cada lavado secar primero con papel absorbente y completar después con secador de cabellos.

Monitorear la superficie contaminada, el líquido de lavado y el papel de secado.

2. Lavar con solución de ácido cítrico 3%.
Enjuagar con agua tibia.

Secar.

Monitorear el área contaminada, los líquidos de lavado y papel de secado.

3. Lavar y frotar suavemente los cabellos con solución complejante durante 3 minutos.

Enjuagar con abundante agua tibia.

Monitorear el área contaminada, líquido de lavado y el papel de secado.

4. En caso de persistir la contaminación por encima de los valores:

3,7 $Bq.cm^{-2}$ (10^{-4} $\mu Ci.cm^{-2}$) para emisores beta-gamma ó
0,37 $Bq.cm^{-2}$ (10^{-5} $\mu Ci.cm^{-2}$) para emisores alfa

Evaluar la necesidad de cortar el cabello.

No usar en cabellos soluciones de:	PERMANGANATO DE POTASIO HIPOSULFITO DE SODIO HIPOCLORITO DE SODIO

1.9. Descontaminación de ojos

1. Lavar inmediatamente los ojos con abundante cantidad de agua tibia, desde el lado interno hacia el externo utilizando una jeringa, realizando cada lavado en forma suave.
Secar los párpados y piel que rodea al ojo con papel absorbente.
Monitorear el área contaminada, líquido de lavado y papel de secado.

2. Trasladar al accidentado al servicio médico para ser examinado y eventualmente completar la descontaminación (descontaminación específica).

1.10. Descontaminación de orofaringe

1. Tomar muestra de soplado nasal.

2. Realizar gárgaras con agua tibia, evitando ingerir los líquidos.

3. Evitando la ingestión de líquidos realizar 5 ó 6 gárgaras con una solución de DTPA al 1%, durante 1 ó 2 minutos cada una.

Monitorear el área contaminada y el líquido de lavado.

4. Realizar una inhalación con aerosol de DTPA (ej. SPINHALER).

5. Limpiar dientes con pasta dentífrica y cepillo, suavemente, formando espuma durante 3 minutos.

Enjuagar con abundante agua tibia.
Monitorear los líquidos de lavado y enjuague.
Repetir el procedimiento si fuese necesario.

6. Realizar 5 ó 6 gárgaras con solución de citrato de sodio al 3% durante 1 minuto cada una.
Enjuagar con abundante agua tibia.
Monitorear el área contaminada y el líquido de enjuague.

7. Repetir si fuese necesario.

En todos los casos enumerados: Trasladar al contaminado a un servicio médico convenientemente preparado para recibir personas contaminadas y realizar la evaluación del tratamiento descontaminante y eventualmente completarlo.

1.11. Tratamiento descontaminante bajo supervisión médica

El personal médico encargado de asistir a personas contaminadas con material radiactivo debe:

a. Disponer de un área para la atención del personal contaminado, aislada de los cónsul torios de atención médica laboral convencional.

Preparar y mantener en condiciones de uso equipos para el monitoreo de la contaminación, materiales y botiquín para la descontaminación.

b. Asistir a cursos de capacitación y actualización para la atención del personal contaminado.

c. Decidir las prioridades de asistencia terapéutica en contaminaciones asociadas a traumatismos y/o emergencias médicas.

Siempre es prioritaria la atención médica de traumatismos y/o emergencias clínicas severas.

El tratamiento descontaminante debe ser prioritario cuando

La contaminación interna origina manifestaciones agudas en órganos vitales.

En un accidentado con traumatismo, y/o en caso de emergencias que no se agraven con el retardo de la asistencia.

Tratamiento descontaminante bajo supervisión médica:

1.11a. Tratamiento descontaminante de las fosas nasales.

1.11b. Descontaminación de oídos.

1.11a. TRATAMIENTO DESCONTAMINANTE DE FOSAS NASALES

a. Tomar muestra de soplado nasal.

b. Introducir cuidadosamente un catéter blando de 3 - 4 mm de diámetro en una fosa nasal hasta una distancia de 3 - 4 cm del orificio nasal.

c. Inclinar la cabeza hacia adelante sobre un recipiente e inyectar con jeringa solución fisiológica mientras el accidentado expele simultáneamente por nariz.

Secar con papel absorbente la superficie cutánea que rodea las fosas nasales.

Monitorear la superficie contaminada, el líquido de lavado y el papel de secado.

d. Inyectar con jeringa una solución de DTPA al 1% a través del catéter, mientras el accidentado expele simultáneamente por la nariz.

Secar con papel absorbente la superficie cutánea que rodea las fosas nasales.

Monitorear la superficie contaminada, el líquido de lavado y el papel de secado.

e. Inyectar a través del catéter, en iguales condiciones que el paso anterior, solución fisiológica.

Secar con papel absorbente la piel que rodea las fosas nasales.

Monitorear la superficie contaminada, líquido de lavado y papel de secado.

h. Reducir la contaminación por debajo de 3,7 $Bq.cm^{-2}$ (10^{-4} $\mu Ci.cm^{-2}$) para emisores beta-gamma 0,37 $Bq.cm^{-2}$ (10^{-5} $\mu Ci.cm^{-2}$) para emisores alfa.

i. En caso contrario repetir los pasos anteriores.

j. Si el radionucleido contaminante es un actínido o lantánido después de realizar los lavados, efectuar una inhalación con aerosol de DTPA (SPINHALER).

1.11b. DESCONTAMINACIÓN DE OÍDOS

a. Descartar patología aguda o crónica del conducto auditivo externo mediante exámen otorrinolaringológico.

b. Colocar al accidentado en igual posición que para un lavado de oídos convencional.

c. Lavar con abundante cantidad de solución fisiológica.

d. Monitorear la superficie contaminada y el líquido de lavado.

e. Lavar de igual forma el conducto auditivo con agua oxigenada al 3%.

f. Monitorear la superficie contaminada y el líquido de lavado.

g. Repetir si fuese necesario los dos pasos anteriores.

h. En caso de lesiones agudas o crónicas del conducto auditivo aplicar los mismos pasos, pero utilizando un hisopo de algodón bajo control ocular.

i. Reducir la contaminación residual por debajo de:

3,7 $Bq.cm^{-2}$ (10^{-4} $\mu Ci.cm^{-2}$) para emisores beta-gamma

0,37 $Bq.cm^{-2}$ (10^{-5} $\mu Ci.cm^{-2}$) para emisores alfa.

En todos los casos registrar la asistencia descontaminante en los formularios específicos.

Si el accidente ocurre en una instalación nuclear el jefe del servicio médico de la instalación es responsable en primera instancia de la asistencia al personal contaminado.

El personal médico y paramédico designado es responsable de las medidas aplicadas en la intervención.

1.12. Tratamiento descontaminante de heridas

Cuando se determina que el paciente presenta una herida contaminada con material radiactivo sin presentar traumatismo severo y no requiere tratamiento de urgencia las primeras medidas a tomar son:

a. Dificultar el retorno venoso mediante la colocación de un torniquete.

Facilitar el sangrado.

b. Lavar la herida con abundante cantidad de agua tibia o solución salina, durante 3 ó 4 minutos.

c. Monitorear la herida con el propósito de localizar la zona contaminada.

d. Cubrir la herida con gasa estéril.

e. Monitorear la vestimenta. Si fuese necesario cambiarla.

f. Trasladar al individuo contaminado al servicio médico de la instalación.

1.12a. HERIDA CONTAMINADA CON ACTÍNIDOS O LANTÁNIDOS

ACTÍNIDOS	**Plutonio (Pu)** **Americio (Am)** **Curio (Cu)** **Berkelio (Bk)** **Californio (Cf)** **Einstenio (Es)**	
LANTÁNIDOS	**Lantano (La)** **Praseodimio (Pr)** **Prometio (Pm)** **Europio (Eu)** **Terbio (Tb)** **Holmio (Ho)** **Tulio (Tu)**	**Cerio (Ce)** **Neodimio (Nd)** **Samario (Sm)** **Gadolinio (Gd)** **Disprosio (Dy)** **Erbio (Er)** **Yterbio (Yb)** **Lutecio (Lu)**

a. Dificultar el retorno venoso mediante la colocación de un torniquete.

Facilitar el sangrado.

b. Lavar la herida con abundante cantidad de solución fisiológica estéril.

c. Monitorear la herida, con el propósito de localizar la zona contaminada, y los líquidos de lavado.

d. Lavar la herida con solución concentrada (25%) de DTPA-Ca o verter 1 ampolla de 1g de DTPA-Ca al 25%.

e. Cubrir la herida con gasa estéril.

f. Cambiar la vestimenta y trasladar al contaminado al SERVICIO MÉDICO DE LA INSTALACIÓN, para completar el tratamiento dentro de los 30 - 45 minutos de ocurrido el accidente.

g. Tratamiento en el servicio médico de la instalación.

Administrar por vía endovenosa 0,5 g (media ampolla) de DTPA-Ca diluido en 250 ml de solución fisiológica, lentamente.

1.12b. HERIDA CONTAMINADA CON SALES DE CROMO O MANGANESO

a. Dificultar el retorno venoso mediante la colocación de un torniquete.

Facilitar el sangrado de la herida.

b. Lavar la herida con abundante cantidad de solución fisiológica estéril.

c. Monitorear la herida y líquidos de lavado.

d. Lavar la herida con solución de DTPA-Ca al 25% o verter una ampolla de 1 g de DTPA-Ca al 25% e inyectar por vía endovenosa una solución conteniendo 0,5 g de DTPA-Ca (media ampolla) en 250 ml de solución fisiológica, lentamente.

Si el tratamiento anterior no puede ser aplicado, la opción sería lavar la herida con una solución conteniendo 1g de DEFEROXAMINA (Desferal MR, 2 ampollas), en 100 ml de solución fisiológica e inyectar por vía endovenosa 1g de DEFEROXAMINA (Desferal), para las sales de Cromo, o inyectar por vía INTRAMUSCULAR 1g de DEFEROXAMINA, para sales de Manganeso.

e. Monitorear la herida y líquidos de lavado.

1.12c. HERIDA CONTAMINADA CON ESTRONCIO

a. Dificultar el retorno venoso mediante la colocación de un torniquete.

Facilitar el sangrado de la herida.

b. Lavar la herida con abundante cantidad de solución fisiológica estéril.

c. Monitorear la herida y líquidos de lavado.

d. Depositar sobre la herida: 1g de ***rodizonato de sodio o potasio.***

e. Administrar por vía bucal: 10 g de ***alginato de calcio.***

Se puede reemplazar el alginato por 15-45 ml de fosfato de aluminio (fosfato de aluminio gel).

1.12d. CONTAMINACIÓN DE HERIDAS CON PRODUCTOS DE FISIÓN

Radionucleidos transportables	Cs 137, Sr 90, yodo
Radionucleidos no transportables	Ce 144

Tratamiento

a. Dificultar el retorno venoso mediante la colocación de un torniquete.

Facilitar el sangrado de la herida.

b. Lavar la herida con abundante cantidad de solución fisiológica estéril.

c. Monitorear la herida y líquidos de lavado.

d. Administrar por vía bucal:

130 mg de ioduro de potasio o magnesio.

1g de AZUL DE PRUSIA, 3 veces al día.

e. Administrar por vía endovenosa:

Media ampolla (0,5 g) de DTPA-Ca diluido en 250 ml de solución fisiológica, lentamente.

f. Tratamiento específico de la herida:

Lavar con solución de DTPA-Ca 25% o verter 1 ampolla de DTPA-Ca al 25%.
Espolvorear sobre la herida 1 g de Rodizonato de potasio.

1.12e. HERIDA CONTAMINADA CON URANIO

a. Lavar la herida con solución de bicarbonato de sodio al 1,4%.

b. Inyectar por vía endovenosa lenta 250 ml de solución de bicarbonato de sodio 1,4%.

1.12f. HERIDA CONTAMINADA CON COBALTO

a. Inyección endovenosa lenta de 0,5 g de DTPA-Ca (media ampolla).

b. Lavar la herida con solución de DTPA-Ca al 25% o verter 1 ampolla conteniendo 1 g de DTPA-Ca al 25%.

c. Medir.

d. Si persiste actividad, evaluar el traslado del paciente para realizar tratamiento quirúrgico.

1.12g. HERIDA CONTAMINADA CON OTROS RADIONUCLEIDOS

a. Lavar la herida con una solución de agua oxigenada al 3%.

Secar con gasa estéril.

Monitorear la herida, el líquido de lavado y la gasa de secado.

b. Lavar con solución de DTPA-Ca al 25%.

Secar con gasa estéril.

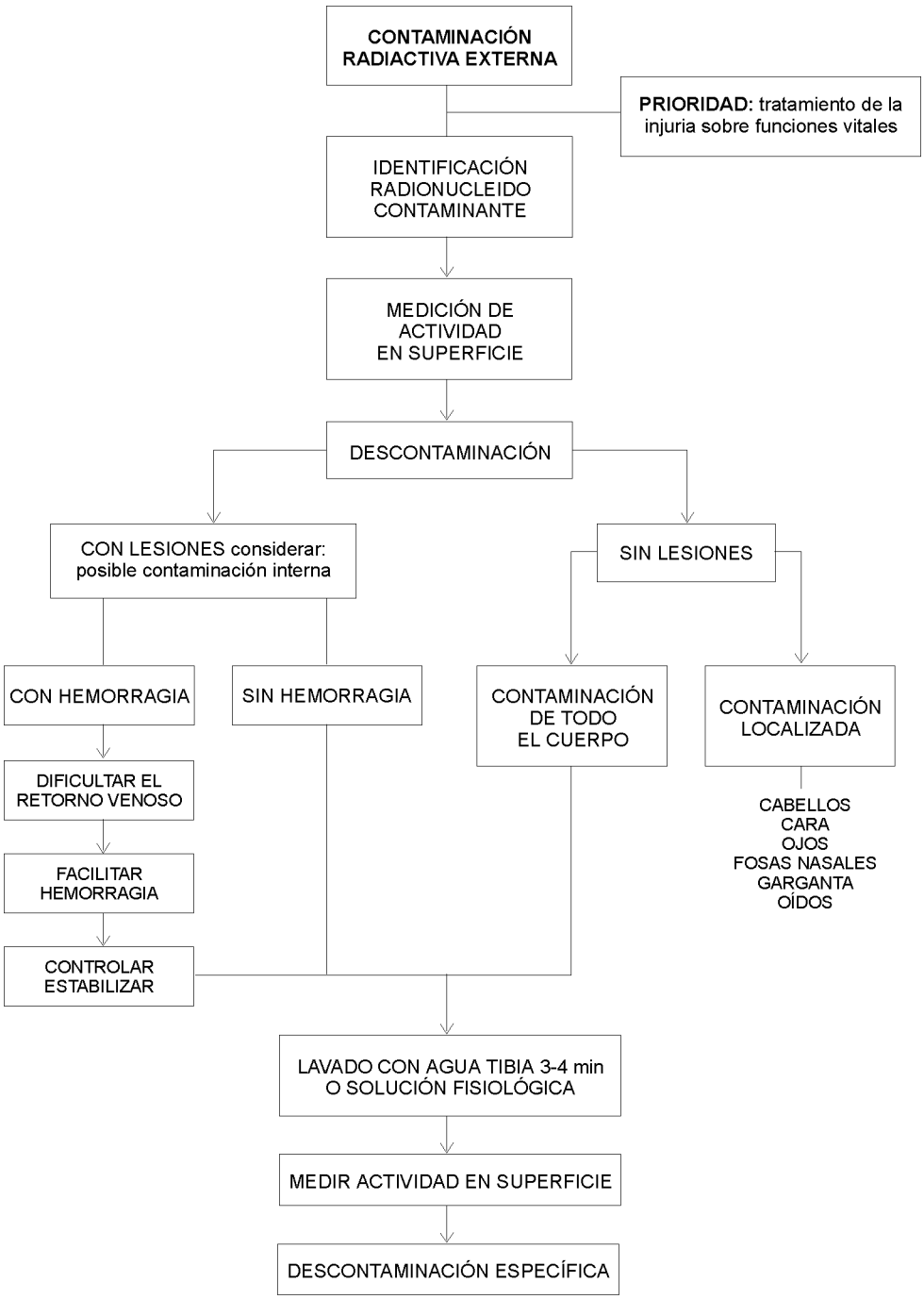
Monitorear la herida, el líquido de lavado y la gasa de secado.

c. Cuando el nivel de contaminación residual es mayor a 3,7 $Bq.cm^{-2}$ (10^{-4} $\mu Ci.cm^{-2}$ para emisores beta-gamma ó 0,37 $Bq.cm^{-2}$ (10^{-5} $\mu Ci.cm^{-2}$) para alfa, repetir el tratamiento descontaminante.

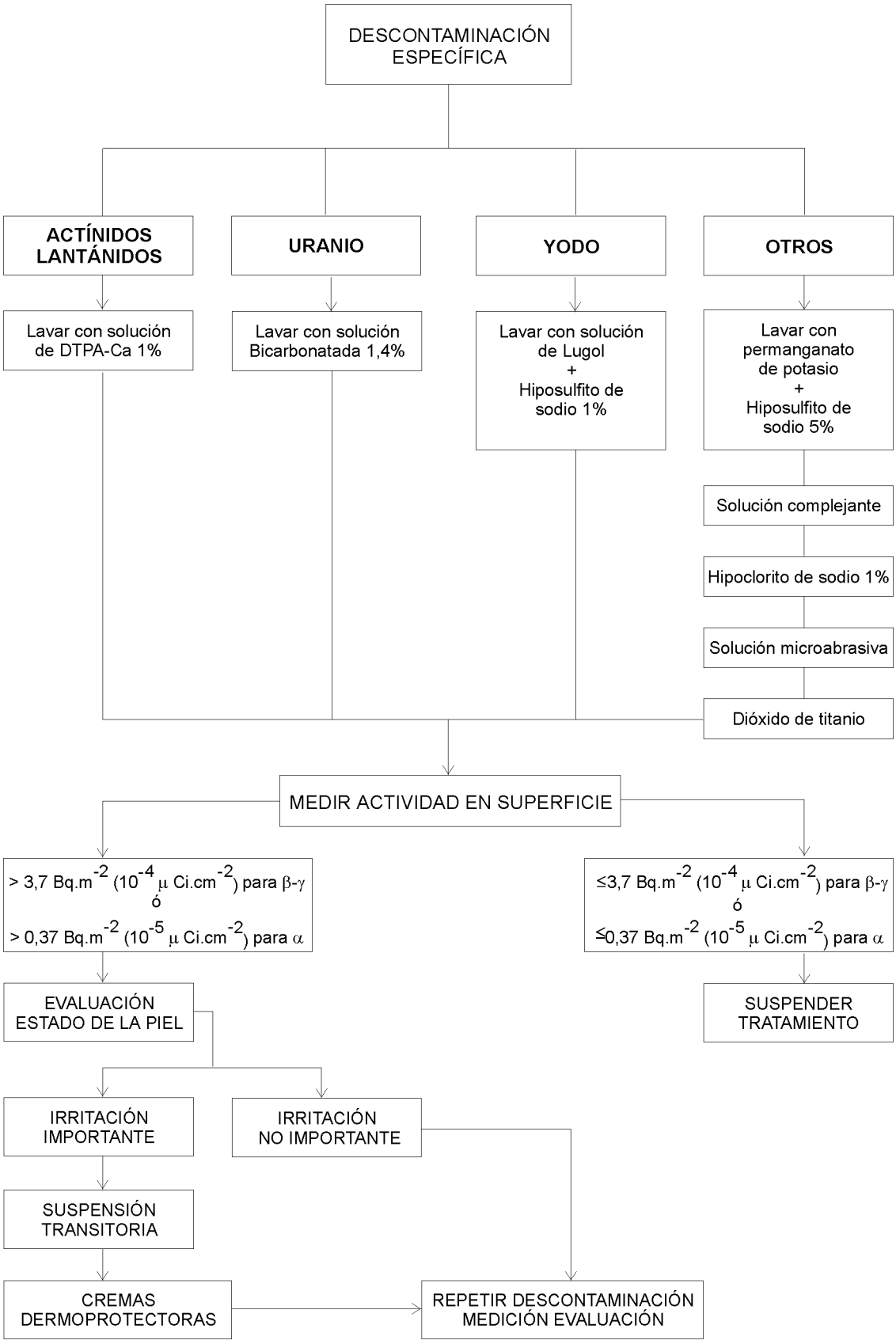
En caso de persistir niveles elevados de contaminación residual evaluar la eliminación quirúrgica del tejido contaminado.

En todos los casos de herida contaminada o en aquellos que se sospeche contaminación interna:

- Evaluar la incorporación (CTC).
- Indicar análisis de excretas.
- En caso de heridas contaminadas es aconsejable trasladar al paciente a un servicio especializado.



continúa en la página siguiente


DESCONTAMINACIÓN ESPECÍFICA
ACTÍNIDOS LANTÁNIDOS
URANIO
YODO
OTROS
Lavar con solución de DTPA-Ca 1%
Lavar con solución Bicarbonatada 1,4%
Lavar con solución de Lugol + Hiposulfito de sodio 1%
Lavar con permanganato de potasio + Hiposulfito de sodio 5%
Solución complejante
Hipoclorito de sodio 1%
Solución microabrasiva
Dióxido de titanio
MEDIR ACTIVIDAD EN SUPERFICIE
> 3,7 Bq.m-2 (10-4 μ Ci.cm-2) para β-γ ó > 0,37 Bq.m-2 (10-5 μ Ci.cm-2) para α
≤3,7 Bq.m-2 (10-4 μ Ci.cm-2) para β-γ ó ≤0,37 Bq.m-2 (10-5 μ Ci.cm-2) para α
EVALUACIÓN ESTADO DE LA PIEL
SUSPENDER TRATAMIENTO
IRRITACIÓN IMPORTANTE
IRRITACIÓN NO IMPORTANTE
SUSPENSIÓN TRANSITORIA
CREMAS DERMOPROTECTORAS
REPETIR DESCONTAMINACIÓN MEDICIÓN EVALUACIÓN

1.13. Medidas de evacuación

En lo que se refiere a las precauciones que se deben tomar para el traslado de personas accidentadas con materiales radiactivos, en el caso de aquellas que han sufrido irradiación externa no se requieren medidas de evacuación particular, sin embargo con un individuo contaminado, contaminación radiactiva externa y/o interna, es necesario tomar medidas para evitar la dispersión de la contaminación:

a. Descontaminarlo antes del traslado.

b. Prevenir la difusión a objetos y personas.

c. Cubrir la superficie o persona contaminada con una bolsa de policloruro de vinilo.

d. Usar una ambulancia recubierta internamente de plástico descartable para trasladar a un individuo contaminado.

EN TODOS LOS CASOS CITADOS, SI SE REQUIERE MAYOR INFORMACIÓN COMUNICARSE CON EL GRUPO MÉDICO DE LA ARN. Tel. 379-8365/8386/8373

ANEXO I. Preparación de soluciones descontaminantes

1. Pasta Microabrasiva

Pesar 5 g de sal sódica de carboximetilcelulosa (CMC), 65 g de fosfato de sodio dodecahidratado ($Na_3\ PO_4\ 12\ H_2O$), ambos finamente molidos.

Agregar 30 g de detergente catiónico y mezclar todo con varilla de vidrio.

Para facilitar la unión de los componentes agregar gotas de agua destilada.

Guardar la solución en frasco hermético.

Puede ser utilizada como tratamiento alternativo de la contaminación radiactiva externa de la piel sin heridas a ser aplicado en la etapa 5 del tratamiento descontaminante.

2. Pasta de dióxido de titanio

Colocar 10 g de dióxido de titanio en polvo y 90 g de lanolina.

Mezclar intensamente con varilla de vidrio y guardar en recipiente hermético.

Antes de usar mezclar los componentes.

Puede ser utilizada como tratamiento alternativo de la contaminación radiactiva externa de la piel sin heridas a ser aplicado en la etapa 5 del tratamiento descontaminante.

3. Solución de permanganato de potasio (oxidante) al 5%

Pesar 5 g de permanganato de potasio ($KMnO_4$) y disolverlo en agua destilada (si fuese necesario calentarlo suavemente).

Llevar la solución a 100 ml en un matraz o probeta.

En caso de aparecer un precipitado o turbidez, filtrar la solución con papel de filtro, descartando el componente insoluble.

Guardar la solución en frasco color caramelo o en su defecto en la oscuridad.

4. Solución de bisulfito de sodio al 5% (Reductora)

Pesar 5 g de sulfito ácido de sodio (Na SO_3H), disolverlo en agua destilada y llevar a 100 ml en un matraz o probeta.

Guardar la solución en frasco bien tapado.

5. Solución Complejante

Pesar 8 g de sal sódica de carboximetilcelulosa (CMC), 1 g de EDTA disódico dihidratado (Etilendiaminotetracético) y disolverlos en la menor cantidad de agua destilada posible.

Colocar en un matraz y luego verter 3 g de detergente catiónico.

Llevar todo a 100 ml con agua destilada.

Homogeneizar la solución y guardar en un envase adecuado.

6. Solución de Schubert

Pesar 3 g de ácido tartárico, 4,7 g de ácido cítrico, 8 g de EDTA disódico dihidratado y 2,2 g de cloruro de calcio dihidratado.

Colocar los reactivos en un matraz de 1000 ml y agregar 500 ml de agua destilada. Agregar gota a gota hidróxido de sodio 2 molar hasta alcanzar ph 7, controlando con papel indicador. Llevar a 1000 ml con agua destilada.

Homogeneizar la solución y guardarla en frasco hermético.

Para preparar hidróxido de sodio 2 molar, pesar 8 g de la droga y disolverla en agua destilada. Llevar a 100 ml y guardar en envase plástico.

Puede ser utilizada como tratamiento alternativo de la contaminación radiactiva externa de la piel sin heridas a ser aplicado en la etapa 3 del tratamiento descontaminante, después de la aplicación de la solución complejante (EDTA).

7. Solución de citrato de sodio al 3%

Pesar 3 g de citrato de sodio dihidratado y disolverlo en agua destilada. Llevar a 100 ml en matraz o probeta. Guardar la solución en recipiente hermético.

8. Solución de agua oxigenada al 3%

Tomar 10 ml de agua oxigenada de 100 volúmenes y llevar a 100 ml con agua destilada en probeta o matraz.

Mezclar la solución y guardarla en un frasco hermético.

9. Solución de hipoclorito al 1%

Tomar 6 ml de agua lavandina (80 g de Cl/litro) y llevar a 100 ml usando probeta o matraz.

Guardar la solución en recipiente hermético.

10. Solución de LUGOL (solución yodoiodurada)

Disolver 5 g de yodo y 10 g de ioduro de potasio en unos 15 ml de agua destilada, en matraz de 100 ml. Llevar la solución a 100 ml con agua destilada. Guardar la solución en frasco color caramelo.

FORMULARIO N° 1

RECEPCIÓN DEL ACCIDENTADO

Área Controlada N°..... **Fecha .....….**

Matrícula N°..... **Lugar .....**

Datos Personales

Apellido ..... **Sexo F ☐ M ☐**

Nombre .....

Peso (kg) .....

Edad (años) .....

Dirección .....

Teléfono .....

Datos del Accidente

Tipo de Accidente	Contaminación Externa	☐
	Contaminación Interna	☐
	Irradiación Externa	☐

Lugar .....

Fecha .....

Hora .....

Breve descripción del accidente .....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

FORMULARIO N° 2

EVALUACIÓN FÍSICA DEL ACCIDENTADO

Fecha.....……

Nombre y Apellido .....

Lesiones Si ☐ No ☐

Tipo de Lesión	**Localización**	**Observaciones**
Contusión		
Fractura		
Herida		
Quemadura		
Otras		

Evacuación Si ☐ No ☐

Lugar de Evacuación:

Dentro de la Instalación ☐

Servicio médico de la Instalación ☐

Centro de Derivación ☐

Dirección.....

Teléfono .....

Personal Interviniente:

Radioproteccionista

Nombre y Apellido .....

Teléfono ..... Firma .....

Médico(s)

Nombre y Apellido .....

Teléfono .....

Firma .....

FORMULARIO N° 3-a

CONTAMINACIÓN RADIACTIVA EXTERNA

Nombre y Apellido ..... Fecha .....

Matrícula N° ..... Área Controlada N° .....

Dirección ..... Teléfono .....

CONTAMINACIÓN EXTERNA:

1- Sin Herida

Radionucleido Contaminante	Superficie Contaminada	Medición	Tratamiento

2- Con Herida

Radionucleido Contaminante	Superficie Contaminada	Medición	Tratamiento

Datos del Accidente:

Fecha ..... Hora .....

Radionucleido(s) Contaminante(s)

Estado Físico .....

Forma Química .....

FORMULARIO N° 3-b

Nombre y Apellido .....

SUPERFICIE CONTAMINADA:

Localización .....

Extensión .....

TRATAMIENTO DESCONTAMINANTE

	MEDICIONES $Bq.cm^{-2}$ ($\mu Ci.cm^{-2}$)		
	1ra	2da	3ra
Actividad depositada			
Jabón líquido ácido Agua tibia			
Solución de permanganato de K Solución de hiposulfito de Na Agua tibia			
Agua tibia+Solución complejante Agua tibia			
Hipoclorito de Na Agua tibia			
Abrasivos			
Tela adhesiva			
Cremas dermoprotectoras			

Examen de la superficie tratada .....
.....

INDICACIONES

Suspender tratamiento ☐

Repetir tratamiento dentro de ..... hs ☐

Finalizar tratamiento ☐

Observaciones:
.....

.....

Firma

.....

CONTENIDO

2.1. INTRODUCCIÓN
2.2. ETAPAS DE LA CONTAMINACIÓN RADIACTIVA INTERNA

2.3. ELEMENTOS TRANSFERIBLES - NO TRANSFERIBLES
2.3a. - Elementos transferibles
2.3b. - Elementos no transferibles

2.4. PRINCIPIOS PARA EL TRATAMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN INTERNA
2.5. CONDUCTA FRENTE A UNA CONTAMINACIÓN INTERNA

2.6. MEDICIONES DE ACTIVIDAD Y ANÁLISIS RADIOTOXICOLÓGICOS

2.7. TRATAMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN INTERNA
2.7a - Contaminación de la piel
2.7b. - Heridas y quemaduras contaminadas
2.7c. - Contaminación del aparato digestivo
2.7d. - Contaminación del aparato respiratorio

2.8. PROCEDIMIENTOS DESCONTAMINANTES
2.8a. - Procedimientos destinados a reducir el pasaje del radionucleido desde el sitio de entrada
2.8b. - Procedimientos destinados a aumentar la excreción del radionucleido contaminante

2.9. CRITERIOS DE INTERVENCIÓN

Anexo I FÁRMACOS UTILIZADOS PARA EL TRATAMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN CON DISTINTOS RADIONUCLEIDOS

Anexo II INFORMACIÓN BÁSICA PARA EL TRATAMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN RADIACTIVA INTERNA

Anexo III CONSIDERACIONES ACERCA DE LA ADMINISTRACIÓN DE YODO ESTABLE EN ACCIDENTES RADIOLÓGICOS

BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

2.1. Introducción

La contaminación radiactiva interna se produce cuando una sustancia radiactiva penetra en el organismo a través de diferentes vías: inhalatoria, digestiva, heridas o piel intacta.

El tratamiento de la contaminación interna está estrictamente vinculado a la información acerca del metabolismo del radionucleido, el que a su vez se encuentra bajo la doble dependencia de las condiciones biológicas del organismo y de la condición físico-química del contaminante. La urgencia y la importancia del tratamiento dependen de la eficacia del método terapéutico y de la gravedad de la contaminación.

La gravedad de la contaminación depende de muchos factores, entre los que se pueden citar:

- Magnitud de la carga incorporada.
- Órganos de retención.
- Naturaleza de la emisión del radionucleido contaminante.
- Período de decaimiento efectivo (combinación del período de decaimiento físico y biológico) del radionucleido contaminante.

2.2. Etapas de la contaminación radiactiva interna

La contaminación interna comprende 4 etapas sucesivas:

a. Deposición en la puerta de entrada

Las vías posibles de entrada (“intake”) del contaminante son:

- Piel sana
- Mucosas
- Tubo digestivo
- Aparato respiratorio
- Heridas

Las dos últimas constituyen las vías de contaminación más frecuentes.

b. Transferencia

Movimiento (“uptake”) del contaminante desde el punto de deposición a la sangre o linfa (o en forma genérica, al líquido extracelular).

c. Deposición en el órgano blanco (órgano crítico)

El órgano crítico puede ser definido como el órgano en el cual el daño por radiación constituye el mayor daño para el organismo. Por razones fisiológicas o físico-químicas el factor determinante es la concentración del radionucleido.

d. Eliminación

Se puede producir por dos mecanismos distintos:

Eliminación directa: ejemplo por filtración renal de sangre que contiene el radionucleido (excreción urinaria directa) y eliminación directa por heces (excreción fecal directa).

Eliminación indirecta: por recirculación a partir de los tejidos, después de la inversión de la relación de concentraciones entre los tejidos y la sangre (excreción urinaria indirecta) o por eliminación a través de bilis y otras secreciones digestivas (excreción fecal indirecta).

Estos dos mecanismos pueden coexistir en forma variable, dependiendo del elemento contaminante.

El tratamiento es aplicado generalmente en las etapas a) y b), es decir bloqueando la incorporación al organismo por fijación del radionucleido en la puerta de entrada o atrapándolo en la sangre durante su transferencia, utilizando luego para su eliminación un mecanismo natural de excreción.

La acción en la etapa c) consiste en prevenir la deposición del radionucleido en el órgano crítico, esto es posible en el caso específico de la tiroides.

La acción en la etapa d) es generalmente ineficaz, excepto para radionucleidos semejantes al tritio.

2.3. Elementos transferibles y no transferibles

Basándose en su comportamiento en el material biológico, los radionucleidos pueden ser clasificados en dos categorías:

2.3a. Elementos transferibles

2.3b. Elementos no transferibles

2.3a. ELEMENTOS TRANSFERIBLES

- Son solubles en el material biológico y pueden difundir por todo el organismo.
- Pueden ser absorbidos en el aparato digestivo.
- La cantidad total incorporada puede pasar rápidamente a través de varias etapas metabólicas que conduce al depósito en el órgano crítico.
- Se encuentran usualmente presentes en el organismo en la forma fisiológica como un isótopo estable (ejemplo yodo) o como un elemento químico análogo (ejemplo los complejos cesio-potasio o estroncio-calcio). Su comportamiento biológico, particularmente su deposición en el órgano crítico, depende del metabolismo del análogo fisiológico correspondiente. De esta manera el yodo se acumula en la tiroides, el cesio en músculo, mientras que el estroncio y radio siguen el destino del calcio en la hidroxiapatita ósea.
- Son cationes minerales de valencia I o II cuya difusión está en relación con su forma disociada, iónica, en el pH de la materia viva.
- Entre estos elementos hay dos grandes familias de cationes que tienen metabolismos diferentes:

  ***Alcalinos** (sodio, cesio, potasio): difunden en todo el organismo.

  ***Alcalinos térreos** (calcio, estroncio, bario): se acumulan en la estructura ósea.

2.3b. ELEMENTOS NO TRANSFERIBLES

- No responden a los criterios enunciados anteriormente por distintas razones.
- No existen en estado natural en el organismo ni tienen análogos.

- Algunos compuestos son insolubles a todos los pH, como ciertos óxidos calcinados a alta temperatura.
- Prácticamente no difunden en el organismo, el órgano de retención es la puerta de entrada. Sin embargo siempre hay alguna difusión local, no obstante pequeña (ejemplo: óxido de plutonio).
- Algunos son solubles solamente a pH ácidos, como ciertas sales que se hidrolizan con el aumento del pH para dar hidróxidos que se polimerizan en el lugar. Para estos elementos los órganos críticos y tejidos de importancia son, además de la puerta de entrada, generalmente el hígado y la superficie ósea (ejemplo: nitrato de plutonio).
- Estos elementos no transferibles son en general cationes minerales de valencia igual o superior a III.
- Los ejemplos más importantes son las tierras raras, plutonio y transplutónidos.
- Su insolubilidad en el organismo desaparece cuando están en la forma complejada y el complejo es estable y soluble. El destino biológico es ahora el del complejo (el del agente quelante) y no el del elemento. Esta propiedad es fundamental desde el punto de vista terapéutico. Un complejante utilizado es el DTPA (ácido dietilentriaminopentacético) y el complejo formado puede ser eliminado a través del riñón, evitando así una deposición prolongada en el hígado o en el hueso.
- Hay que tener presente que la solubilidad es relativa y está en directa dependencia del medio. El medio varía de acuerdo al órgano considerado, desde el punto de vista del pH y del potencial redox. Por ejemplo, un elemento inhalado en forma insoluble, puede ser hecho absorbible a nivel del tubo digestivo por dilución en el medio ácido del estómago. A la inversa, un elemento soluble puede ser hecho completamente insoluble en el aparato digestivo por alcalinización a nivel del duodeno con formación de hidróxidos insolubles.

En conclusión, la absorción se produce rápidamente, ya sea un radionucleido transferible absorbido en su totalidad o se trate de un radionucleido no transferible absorbido solo parcialmente y aunque en mínima medida. Debido a que la transferencia al órgano crítico es contemporánea a la absorción y que las técnicas actuales para acelerar la eliminación son generalmente ineficaces, el éxito de la terapia está directamente relacionada a la rapidez con que se efectúa el tratamiento.

2.4. Principios generales en el tratamiento de la contaminación interna

El primer punto a tener en cuenta en el tratamiento de la contaminación interna es que la eficacia del tratamiento decrece de manera exponencial con el tiempo, esto demuestra la importancia del tratamiento a nivel de la puerta de entrada, especialmente cuando se trata de elementos para los cuales no hay una terapia eficaz una vez que han sido absorbidos. La deposición en el órgano crítico comienza en el momento en que el radionucleido está presente en la sangre y cada momento perdido puede aumentar la deposición. De igual modo, con aquellos radionucleidos para los cuales hay tratamientos efectivos a nivel sanguíneo o por bloqueo de la deposición en el órgano crítico, también se debe aplicar el concepto de urgencia.

El concepto de urgencia terapéutica se aplica en el caso de la contaminación interna con dos condiciones limitantes:

- En todo accidente, las primeras medidas a poner en práctica son aquellas destinadas a preservar las funciones vitales y salvar la vida del accidentado, el tratamiento de la contaminación interna pasa a ocupar un nivel secundario.
- Los fármacos utilizados como primera urgencia deben ser suministrados a niveles no tóxicos y su modo de empleo debe ser simple, lo que será previamente planificado por el médico. En determinadas circunstancias, el mismo contaminado o un agente de radioprotección debidamente entrenado puede comenzar con el tratamiento en el lugar

del accidente (por ejemplo la utilización de yodo estable para bloqueo de tiroides o la aplicación de un agente quelante sobre una herida contaminada). Esto radica en la necesidad de asegurar la mayor eficacia de la terapia, y por lo tanto ésta debe ser aplicada rápidamente después de la contaminación, aunque sólo se sospeche y sin esperar la intervención del médico, salvo en aquellos casos en que las drogas a ser administradas requieran de la aplicación o supervisión médica.*(*)*

(*) Si bien la efectividad del tratamiento descontaminante se relaciona con su precocidad, no es conveniente permitir el libre acceso a drogas que deberían ser suministradas, prescriptas, y administradas sólo bajo supervisión médica. Se recomienda:

a. Disponer de botiquines "in situ" que contengan sólo sustancias de aplicación simple, no tóxicas. Preferentemente productos de aplicación externa con la sola excepción del yodo estable para bloqueo tiroideo y eventualmente el DTPA micronizado aplicado a través de un sistema turboinhalador tipo Sphinaler. Los fármacos de este botiquín primario se deberán adecuar al tipo de instalación y los riesgos asociados a las actividades que se desarrollan en ella.

b. Limitar las cantidades de fármacos disponibles en cada botiquín, asegurando su permanente reposición. Es conveniente presentar los fármacos en forma de "dosis individuales".

c. Confiar el manejo del mismo a un oficial de radioprotección o al responsable de la instalación.

d. Establecer previamente pautas de conducta claras que se explicitarán en un código de procedimientos para cada situación potencial.

Realizado o no el primer auxilio, el contaminado debe ser trasladado al servicio médico de la instalación preparado para tal contingencia.

El médico del servicio lleva a cabo las siguientes acciones:

a. Realiza los primeros auxilios, si estos no fueron realizados.

b. Indica la toma de muestras necesarias para el diagnóstico definitivo de contaminación interna y posterior evaluación clínica (mucus nasal, sangre, orina, heces, etc.).

c. Si es necesario completa la descontaminación externa.

d. Determina que exámenes especiales se deben realizar, como contaje de cuerpo entero o el contaje directo de órganos en particular.

e. Continúa, o si es necesario, modifica el tratamiento inicial.

2.5. Conducta frente a una contaminación interna

Frente a un accidente que resulte en la incorporación accidental de radionucleidos, el médico debe recoger rápidamente cierta información para poder decidir, según un esquema establecido, las acciones a emprender.

En primer lugar se deberá obtener información sobre los radionucleidos involucrados y sobre el orden de magnitud de las cantidades implicadas en el accidente. Puede tratarse de un radionucleido bien preciso (tritio o yodo por ejemplo) o por el contrario de una mezcla menos definida (productos de fisión o actínidos). En lo que concierne a las cantidades, las estimaciones pueden basarse en los datos obtenidos a través de mediciones, la supuesta actividad puesta en juego en el curso de una manipulación o en el contenido previamente conocido de una dada fuente.

Con una idea acerca de la naturaleza y la importancia del accidente, se aplica la noción de urgencia en relación a una conducta terapéutica. Contrariamente a lo que ocurre en el caso de la exposición externa, en la contaminación interna la dosis no se entrega en el momento del accidente sino ulteriormente, durante el tiempo de presencia del radionucleido en el organismo. Este tiempo es más o menos largo (desde varios días hasta prácticamente toda la vida) según el período medio efectivo del elemento. Aplicando un tratamiento precoz se puede disminuir la actividad distribuida en el organismo y su tiempo de permanencia en el mismo, disminuyendo así la dosis recibida.

No hay una regla absoluta en lo que concierne al nivel a partir del cual se debe encarar una terapia descontaminante. Se debe insistir en que cuando esta en juego el pronóstico vital, siempre será la urgencia médica (clínica o quirúrgica) la que tendrá prioridad sobre la urgencia radiológica.

Finalmente el médico debe establecer un protocolo de exámenes a realizar para estimar la importancia de la exposición. Los primeros exámenes dan generalmente sólo un orden de magnitud. Las investigaciones se prolongarán en el tiempo cuando los primeros resultados así lo justificaran. El tiempo de seguimiento se ajustará a cada situación (semanas o hasta meses).

2.6. Mediciones de actividad y análisis radiotoxicológicos

Dependiendo de la naturaleza del radionucleido, la determinación de la carga corporal se puede realizar mediante:

a. Mediciones "in vivo"

b. Evaluación del nivel de contaminación por análisis de excretas

a. La medición de actividad "in vivo" se puede realizar mediante espectometría gamma (válida también para ciertos emisores x). La detección es posible sólo si los fotones emitidos tienen una energía superior a unas decenas de keV. La medición puede ser local (herida, tórax, tiroides) o total (contador de todo el cuerpo CTC). Se deberá practicar la descontaminación cutánea previa a la medición para evitar la sobreestimación del nivel de contaminación interna.

b. La recolección de muestras biológicas permite seguir la cinética de la excreción urinaria o fecal. La cuantificación de la excreción permite, sobre la base de modelos metabólicos, evaluar la carga corporal inicial y finalmente la dosis al término del tratamiento.

Las distintas muestras biológicas a ser tomadas dependen del agente contaminante, de su naturaleza físico-química y de la vía de entrada al organismo.

Las muestras colectadas deben estar siempre bien identificadas, con el nombre del agente y hora en que fue tomada, para luego ser enviadas a un laboratorio analítico especializado para su análisis.

El muestreo debe comenzar lo antes posible.

Según las características del contaminante, las muestras biológicas a tomar pueden ser:

1. **Sangre:** Además de las muestras de sangre que se requieren para realizar un examen hematológico de rutina, muestras adicionales pueden ser usadas para investigar el radionucleido contaminante, ya que se requiere de la mayor cantidad de datos posibles. Para ello se tomarán las siguientes muestras obtenidas por punción venosa, utilizando como desinfectante alcohol, no usar compuestos iodados.

   – Muestra de 2 a 5 ml con EDTA (2 mg/ml de sangre) (frotis, recuento de glóbulos rojos, blancos, plaquetas, hematocrito, hemoglobina).

   Además, si la contaminación lleva a una exposición significativa, sea interna por su elevado nivel, o externa por el tipo de radiación emitida, también son necesarias muestras adicionales para realizar las determinaciones normatizadas para los casos de irradiación externa (ver protocolo específico).

2. **Orina:** la primera muestra de orina es especialmente importante y no debe ser mezclada con muestras posteriores. Debe ser tomada inmediatamente después de ocurrido el accidente y posteriormente en días sucesivos (orina de 24 horas). La fecha y hora deben ser

consignadas. Se recomienda especial cuidado en la recolección de las muestras a fin de evitar contaminación radiactiva exógena. Se conservarán preferentemente en la heladera.

3. **Heces:** se deben recoger todas las excretas de, por lo menos, los primeros 3 o 4 días (como mínimo tres muestras).

4. **Mucus nasal:** en caso de contaminación del aparato respiratorio, para la identificación y la determinación semicuantitativa del radionucleido, se deben recolectar muestras del soplado nasal y del material expectorado en un pañuelo de papel.

Estos primeros exámenes permiten poner en evidencia los radionucleidos involucrados y sus proporciones relativas o confirmar la presunción que se tenía al respecto. Además se puede obtener una estimación acerca de la cantidad incorporada. Si esta resulta un orden de magnitud por debajo de los límites aplicables en el medio profesional no se justifica continuar los exámenes. En caso contrario se establecerá un protocolo de seguimiento de mediano y eventualmente largo plazo basado, según las circunstancias, en mediciones directas o en análisis radiotoxicológicos, con el propósito de precisar la actividad incorporada así como de controlar la eficacia de la terapéutica instituida.

2.7. Tratamiento de la contaminación interna

Los métodos de tratamiento aplicados varían según la vía de entrada del contaminante. Deben ser consideradas diferentes posibilidades:

2.7a. Contaminación de la piel

2.7b. Herida contaminada

2.7c. Contaminación a través del aparato digestivo

2.7d. Contaminación a través del aparato respiratorio

2.7a. CONTAMINACIÓN DE LA PIEL

La piel sana constituye una buena barrera contra la penetración de numerosos productos radiactivos con la excepción del yodo y el agua tritiada.

Frente a un caso de contaminación cutánea, debe impedirse la diseminación del contaminante en el organismo y no debe hacerse nada que pueda favorecerla. La regla es evitar toda escoriación de la piel, por más pequeña que sea, y el uso de productos que puedan facilitar el pasaje a través de la misma.

El radionucleido es removido por lavados, solubilización, etc. Hay indicaciones especiales para cada tipo de radionucleido (ver protocolo de tratamiento de la contaminación externa).

2.7b. HERIDAS Y QUEMADURAS CONTAMINADAS

La piel lesionada no asegura más su rol de barrera protectora. Una vez que un compuesto franquea la barrera cutánea puede ser directamente transferido hacia el líquido extracelular o ser retenido localmente en los tejidos subcutáneos y en los ganglios linfáticos locorregionales. Una parte o la totalidad de la actividad así retenida pasará más o menos rápidamente al líquido extracelular.

Se deben evaluar particularmente dos factores:

– **Gravedad del accidente**

El tratamiento de urgencia del accidentado ha de preceder al tratamiento de la contaminación.

– **Grado de contaminación**

Las acciones a tomar varían según se trate de un elemento transferible o no transferible.

Si el contaminante es un elemento transferible, debe hacerse insoluble en el sitio de la herida, para evitar su difusión.

Si el contaminante es un elemento no transferible y hay solamente una pequeña extensión local de la contaminación, puede ser tratado con un agente terapéutico de aplicación local (ejemplo un agente quelante).

En determinados casos es necesario considerar el tratamiento quirúrgico de la lesión.

En todo caso de herida contaminada, es aconsejable el traslado del paciente a un servicio o centro especializado para evaluar la posibilidad de una intervención quirúrgica.

2.7c. CONTAMINACIÓN A TRAVÉS DEL APARATO DIGESTIVO

La contaminación del aparato digestivo es poco frecuente en los trabajadores, y la probabilidad de que ocurra en el curso de un accidente profesional es baja. Habitualmente en estos casos una parte del radionucleido es transferido hacia el líquido extracelular y el resto es directamente excretado por heces.

Si ocurre una contaminación por vía digestiva, lo primero que hay que saber es la naturaleza del agente contaminante, si se trata de un elemento no transferible o transferible.

En el caso de un elemento no transferible, insoluble a nivel del tracto gastrointestinal, la pequeña fracción absorbida no justifica generalmente un tratamiento.

Si se trata de un elemento transferible, absorbible a nivel del tracto digestivo, se debe realizar un intento de insolubilizarlo, usando fármacos como el azul de Prusia en el caso del cesio, alginato de calcio para el estroncio, etc.

2.7d. CONTAMINACIÓN DEL APARATO RESPIRATORIO

En este caso es difícil realizar una evaluación del grado de contaminación. En un primer tiempo, el aerosol inhalado se deposita a nivel de las diversas regiones del árbol respiratorio (nasofaringe, tráquea, bronquios, parénquima pulmonar).

Varios mecanismos de depuración son puestos en juego para asegurar la eliminación de partículas depositadas en el árbol respiratorio: la transferencia directa hacia el líquido extracelular, la transferencia hacia los ganglios linfáticos pulmonares y la transferencia hacia el tracto digestivo. Hay que tener presente, que en la contaminación del aparato respiratorio, y durante la depuración del contaminante, una porción del material inhalado retorna al árbol bronquial, es deglutido y pasa a esófago. Esta depuración a través del tracto digestivo, puede involucrar una gran fracción de la contaminación total y como resultado se puede producir una absorción secundaria del radionucleido en el aparato digestivo. Por lo tanto, después de un accidente en el que se sospeche una importante contaminación pulmonar por radionucleidos altamente absorbibles en el tracto digestivo, se debe tratar de hacerlos insolubles a nivel gastrointestinal. En

caso de emisores β, la exposición de la mucosa puede ser reducida mediante la administración de un laxante.

Ante la menor sospecha de contaminación grave efectuar el tratamiento. En razón de la dificultad para evaluar el nivel de contaminación pulmonar, la mejor decisión a tomar, en caso de duda, es trasladar al paciente a un servicio especializado, en observación.

2.8. Procedimientos descontaminantes

La eficiencia del tratamiento para diferentes radionucleidos depende de su forma química y puerta de entrada al organismo y de aquí su extensión.

Existen procedimientos que son específicos para cierto tipo de nucleidos y otros que pueden aplicarse para todos los compuestos radiactivos (no específicos). Entre estos últimos se incluyen el lavado y la escisión quirúrgica de heridas contaminadas, la administración de laxantes para acelerar el tránsito intestinal y el lavado gástrico. Son efectivos cuando se aplican rápidamente después de una incorporación de material radiactivo fácilmente absorbible por vía digestiva y además brindan la posibilidad de remover material radiactivo altamente insoluble desde el sitio de entrada. Su eficacia aumenta si son utilizados en combinación con los procedimientos específicos.

Los métodos de tratamiento pueden clasificarse en:

2.8a. Procedimientos destinados a reducir el pasaje del radionucleido desde el sitio de entrada

2.8b. Procedimientos destinados a aumentar la excreción del radionucleido contaminante

2.8a. PROCEDIMIENTOS DESTINADOS A REDUCIR EL PASAJE DEL RADIONUCLEIDO DESDE EL SITIO DE ENTRADA

Piel sana

Heridas

Tracto respiratorio

Tracto digestivo

PIEL SANA: se efectúa un lavado no traumatizante con soluciones acuosas. A veces la eficacia de este tratamiento puede ser reforzada por la utilización de productos destinados a solubilizar el contaminante en el líquido de lavaje (DTPA para los transuránidos y tierras raras, bicarbonato para el uranio).

HERIDAS: Se plantean como acciones inmediatas frente a una herida contaminada: la irrigación con agua estéril o salina, el libre sangrado y la disminución del retorno venoso. Si se plantea el tratamiento quirúrgico hay algunas acciones específicas que lo preceden, tales como:

- Insolubilización in situ de los cationes de valencia I o II para impedir su absorción.

cesio	**Azul de Prusia**
estroncio	**rodizonato**

- Conversión a complejos estables en medio biológico eliminables por vía urinaria, para los cationes de valencia superior a III, a fin de evitar su difusión loco-regional y su absorción ulterior.

transuránidos y tierras raras	quelación por DTPA
uranio	formación de complejos solubles por acción de solución bicarbonatada

Dado que cualquier maniobra de debridamiento quirúrgico involucra cierto riesgo de promover la translocación y absorción del contaminante, los procedimientos quirúrgicos, particularmente aquellos destinados a remover emisores alfa, deber ser llevados a cabo con una irrigación casi continua de soluciones de DTPA. En todos los casos se hará el tratamiento correspondiente para la contaminación interna.

TRACTO RESPIRATORIO: existen pocas acciones terapéuticas directas a nivel del tracto respiratorio:

- **Inhalación de DTPA:** se practica corrientemente en caso de inhalación de transuránidos (especialmente plutonio) o de tierras raras. La quelación de estos elementos por el DTPA conduce a la formación de complejos rápidamente eliminados por vía urinaria.
- **Lavado pulmonar:** se utiliza para remover del pulmón partículas relativamente insolubles. Frecuentemente, los aerosoles inhalados son una mezcla de partículas con diferentes solubilidades. Si una porción significativa del aerosol es relativamente insoluble, el lavado pulmonar es de valor y un tratamiento relativamente seguro. Puede encararse en el caso de inhalación masiva de un compuesto poco transferible (especialmente plutonio), pero se trata de una conducta excepcional que debe ser realizada por un especialista. Este procedimiento se considerará sólo en el caso de incorporaciones importantes en las que pueda esperarse una reducción de la dosis capaz de prevenir efectos determinísticos (neumonitis, fibrosis pulmonar). Presenta riesgos asociados a la anestesia. Los factores a tener en cuenta para la decisión del lavado pulmonar están dados por la cantidad inhalada, edad del paciente, estado físico, etc., por lo tanto es necesario realizar un balance riesgo-beneficio antes de tomar la decisión de realizarlo.

TRACTO DIGESTIVO: la acción terapéutica consiste en insolubilizar el contaminante para evitar la absorción hacia el líquido extracelular y acelerar el tránsito intestinal para limitar la irradiación del tubo digestivo.

La insolubilización en la luz intestinal puede intentarse mediante la administración de productos específicos que precipiten el radioelemento.

cesio	azul de prusia
estroncio	rodizonato
radium	fosfato de aluminio
cationes de valencia mayor de III	alcalinos

Compuestos tales como adsorbentes, antiácidos, laxantes, etc. son administrados como primera medida para reducir la incorporación del radionucleido. Su eficacia disminuye rápidamente con el tiempo.

Algunas de estas sustancias son utilizadas habitualmente en la práctica médica y su uso no constituye un riesgo para las personas tratadas, ya sea, por administración simple o prolongada. Los antiácidos, administrados por vía oral, son efectivos después de la ingestión de radionucleidos en forma coloidal o insoluble en el tracto gastrointestinal y para aquellos que son pobremente absorbidos cuando son neutralizados, tales como tierras raras (cerio, europio, lantano, prometio) y actínidos (americio, californio, curio, plutonio).

Los adsorbentes son generalmente útiles cuando la masa de material radiactivo ingerida es pequeña. El fosfato de aluminio gel y el hidróxido de aluminio son los más utilizados, ambos son adsorbentes y antiácidos. Sulfato de bario en combinación con el sulfato de sodio o magnesio solubles pueden ser recomendados para metales alcalinos térreos radiactivos (bario, estroncio, radio). El fosfato de calcio y aluminio pueden ser útiles después de la ingestión de calcio y fósforo, respectivamente, mientras que el azul de prusia capta cesio, rubidio y talio en el tracto gastrointestinal.

El lavado gástrico puede considerarse sólo frente a una incorporación importante y muy reciente. Los eméticos actúan por estimulación central o gástrica del vómito, no recomendándose su uso en caso de ingesta de productos corrosivos o en individuos con alteraciones de la conciencia. De acuerdo al tiempo de residencia del radionucleido en el intestino, estos tejidos podrán recibir una parte importante de la dosis, la que puede ser reducida mediante la remoción del mismo. Los laxantes son de utilidad cuando grandes cantidades de radionucleidos ingeridos se han unido a adsorbentes o antiácidos y deben ser removidos. Algunos purgantes son capaces de formar compuestos menos solubles con el radionucleido, reduciendo así su absorción (ejemplo sulfato de magnesio para el radium). En algunos casos es posible evaluar la aplicación de enemas o irrigaciones colónicas.

2.8b. PROCEDIMIENTOS DESTINADOS A AUMENTAR LA EXCRECIÓN DEL RADIONUCLEIDO CONTAMINANTE

Una vez que el material radiactivo ha pasado a la sangre, la aplicación de un tratamiento precoz puede prevenir su deposición en los tejidos y reducir la retención de radiactividad en diferentes órganos.

Estos procedimientos pueden clasificarse de acuerdo a su mecanismo de acción:

2.8b1. Tratamiento quelante

2.8b2. Dilución isotópica

2.8b3. Bloqueo metabólico

2.8b4. Administración de agentes movilizadores

2.8b5. Técnicas de eliminación extracorpórea

2.8b1. Tratamiento quelante

Los quelantes son compuestos con capacidad de formar complejos con radionucleidos que pueden ser posteriormente excretados por vía renal o intestinal. El agente complejante puesto en circulación en el líquido extracelular actúa sobre el elemento que ya está presente o que está en vías de absorción. El elemento es así desviado de los órganos o tejidos hacia los cuales lo conduciría su metabolismo normal.

Son usados para el tratamiento de la contaminación con algunos metales pesados radiactivos y, en particular, para actínidos y lantánidos.

Diferentes agentes quelantes son utilizados para diferentes elementos:

Ácidos Poliaminopolicarbónicos

DTPA	ácido dietilentriaminopentacético, sales de calcio o zinc
EDTA	ácido etilendiaminotetracético, sal cálcica

Son útiles para aquellos radionucleidos que están firmemente ligados al calcio, tales como tierras raras o actínidos. Estos agentes también remueven algunos biometales (hierro, manganeso y zinc).

El DTPA es más efectivo que el EDTA, por lo que es preferido si está disponible.

Tioles

Son agentes que en su estructura química presentan grupos sulfhidrilos.

BAL	3,4 dimercaptopropano
DMPS	dimercaptopropansulfonato
PA	penicilamina

Son útiles para el tratamiento de intoxicaciones con metales pesados: antimonio, arsénico, bismuto, cadmio, cobre, oro, mercurio, polonio, etc.

El BAL es el agente más usado, pero es el que causa mayores efectos colaterales.

La penicilamina es capaz de quelar cobre, hierro, mercurio, plomo, oro y otros metales pesados.

Otros

La desferoxamina puede quelar hierro e incluso compuestos de plutonio.

2.8b2. Dilución del material radiactivo

Consiste en la administración de grandes cantidades de un elemento estable análogo. Se acelera el ciclo metabólico del radionucleido y de este modo se acelera su excreción.

El ejemplo práctico más importante de este mecanismo es la reducción de la deposición de radioyodo en tiroides por la administración de yodo estable inmediatamente antes o inmediatamente después de la incorporación del radioisótopo.

Otro ejemplo, es la dilución del tritio mediante la incorporación de líquidos en exceso.

Este mecanismo también puede ser aplicado para intentar la dilución del calcio, cobalto, fósforo, potasio, radio, sodio, estroncio, azufre y zinc, radiactivos, con el respectivo isótopo estable o su elemento análogo.

2.8b3. Bloqueo metabólico

Un agente bloqueante satura el proceso metabólico en un tejido específico mediante un elemento estable, reduciendo así la captación del radionucleido. El ejemplo característico es el caso de la contaminación con radioiodo. El principio consiste en saturar la tiroides con yodo estable, lo que impide la fijación ulterior del yodo radiactivo. Este último es desviado del ciclo normal de hormonogénesis y pasa a la orina.

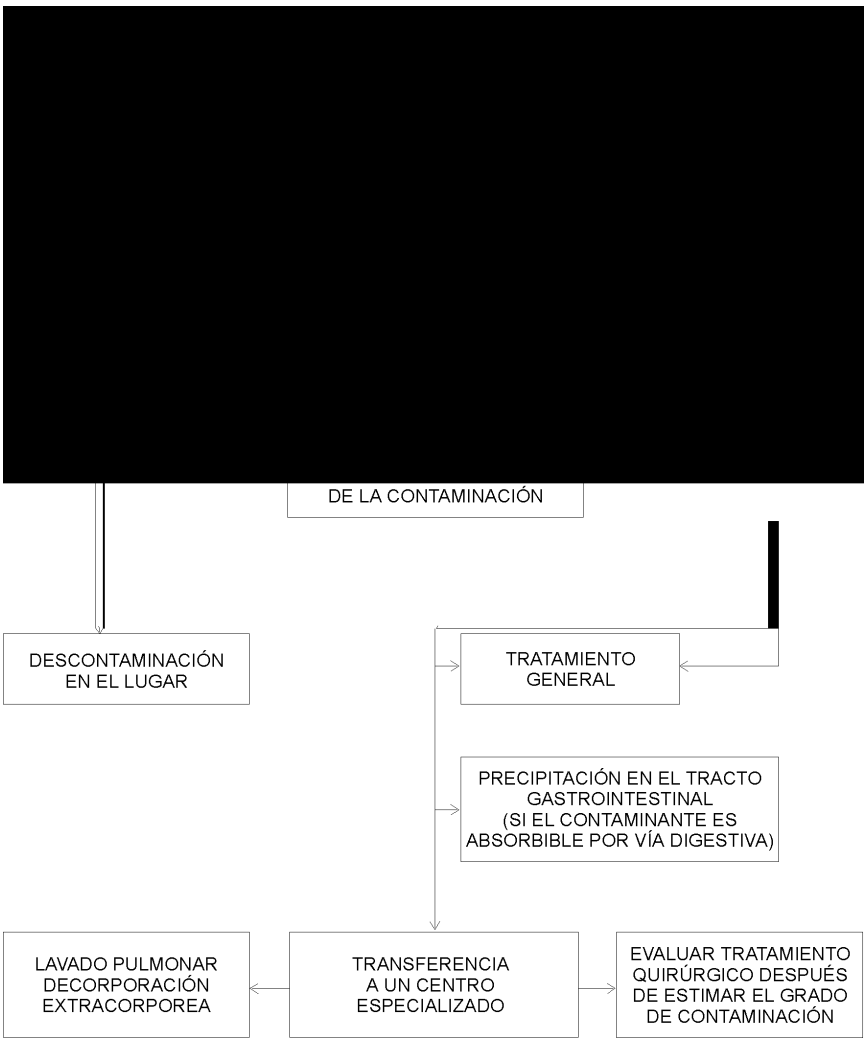
2.8b4. Agentes movilizantes

Son compuestos que aumentan el proceso natural del turn-over, acelerando la eliminación del radioelemento. Estos agentes son más efectivos si se dan en forma precoz. Se pueden incluir en este grupo el cloruro de amonio, capaz de movilizar depósitos de estroncio. El uso de fármacos antitiroideos (propilthiouracilo, metimazol) se postuló para movilizar depósitos tiroideos de altas cantidades de radioiodo, peros sus potenciales efectos adversos no los hacen recomendables. El uso de diuréticos puede acelerar la excreción de tritio, sodio, cloro y potasio. No está demostrada la utilidad de los expectorantes y mucolíticos en el caso de contaminación respiratoria.

2.8b5. Técnicas de eliminación extracorpórea

Se trata de un método usado en toxicología convencional que puede ser aplicado para la remoción de radionucleidos durante su tiempo de tránsito en el torrente circulatorio. Dependiendo de las propiedades químicas y el metabolismo del compuesto puede indicarse hemodiálisis (filtración de la sangre a través de una membrana dializante) o hemoperfusión (pasaje de la sangre a través de una columna de carbón activado o resina de intercambio).

La siguiente figura ilustra, muy esquemáticamente, los principios generales que regulan las distintas posibilidades de tratamiento después de una contaminación con elementos radiactivos.



2.9. Criterios de intervención

Las decisiones acerca de la conducta terapéutica frente a la incorporación accidental de un dado radionucleido deben ser analizadas en el marco de un adecuado balance riesgo/beneficio. Existe un riesgo de daño asociado a la exposición a la radiación, que el tratamiento descontaminante pretende disminuir, pero no debe olvidarse que este tratamiento en sí mismo implica ciertos riesgos. El beneficio de la terapia descontaminante se evalúa en base a la reducción de dosis alcanzada. La carga incorporada y la consecuente dosis comprometida constituyen un parámetro decisivo que, junto a ciertas consideraciones tales como la edad del paciente y su estado de salud permiten ajustar la decisión a las características particulares de cada caso.

No se pueden establecer por lo tanto límites rígidos, no obstante lo cual ciertos valores pueden ser tomados como referencia para una rápida estimación de la magnitud del problema. El cálculo de la dosis efectiva comprometida luego de una contaminación accidental puede demandar un tiempo de cálculo. En ese período, puede ser muy útil manejarse con el concepto de Límite Anual de Incorporación (ALI) que facilita los cálculos y las comparaciones entre diferentes radionucleidos. Los valores de ALI pueden ser calculados de manera rápida a partir de la publicación 68 del ICRP.

Por definición se considerará como sobreexposición sólo aquellos casos en los que se exceda el ALI para un radionucleido en particular. Sin embargo esto no implica que haya que tomar alguna medida terapéutica. Dado que los ALI han sido estimados con un criterio conservativo, los tratamientos descontaminantes estarán indicados solo cuando se presuma una incorporación varias veces superior a la del ALI. Los niveles de intervención se expresan en general como múltiplos del ALI.

Debe tenerse en cuenta que estos valores tienden a aportar un indicador útil para ayudar a la toma de decisiones acerca de la intervención terapéutica, pero se deberán ajustar para los diferentes tipos de tratamiento. Así por ejemplo frente a una incorporación accidental de actínidos o lantánidos no se adoptará el mismo criterio para evaluar la aplicación rápida de una única dosis de un agente quelante tal como el DTPA en aerosol que para la decisión frente a un eventual lavado pulmonar, ya que la magnitud de los riesgos asociados a cada práctica médica es muy diferente.

INCORPORACIÓN DE FORMAS TRANSPORTABLES

En términos generales pueden considerarse tres situaciones:

a. Incorporación de menos de 1 ALI: no está indicado tratamiento alguno.

b. Incorporación de 1 a 10 ALI: no se esperan consecuencias clínicas pero podría considerarse el tratamiento con el objeto de disminuir la probabilidad de efectos estocásticos. En esas condiciones son apropiados los tratamientos a dosis únicas o a corto plazo. Particularmente se indica el tratamiento en el caso de la incorporación de actínidos, especialmente plutonio.

c. Incorporación que excedió 10 ALI: está indicado el tratamiento descontaminante más prolongado. La intensidad y duración del tratamiento se decidirá en base a la potencial reducción de la dosis comprometida.

En los incidentes que involucren isótopos del yodo está indicada la yodoprofilaxis (administración de yodo estable) en forma rápida. En esos casos no se debe demorar la toma de decisiones a la espera de mayor información.

INHALACIÓN DE FORMAS POBREMENTE TRANSPORTABLES

La posibilidad de efectuar lavado pulmonar se considerará sólo si se estima una incorporación de más de 100 ALI. Aun en esos casos habrá que balancear el riesgo de fibrosis pulmonar y cáncer radioinducido frente a las posibles complicaciones del procedimiento, las que aumentan a mayor edad del paciente. Usualmente se indica el tratamiento sistémico con quelantes para acelerar la remoción del pulmón y minimizar el depósito en otros tejidos.

CONTAMINACIÓN DE HERIDAS

La mayor parte de los depósitos de radionucleidos de formas no transportables pueden ser removidas mediante excisión quirúrgica. Bajo esas condiciones resulta inapropiado recomendar niveles de intervención dado que muchos médicos desearían alcanzar niveles no detectables de actividad remanente, siempre que esto no implique riesgo de daño funcional. Cuando exista ese riesgo, habrá que realizar en cada caso un juicio balanceado acerca del nivel de actividad residual que se aceptará.

INGESTIÓN

Similares consideraciones se aplican a la ingestión. Debe notarse que la exposición del intestino grueso inferior puede ser sustancial para los radionucleidos insolubles. Sin embargo el material radiactivo se excreta rápidamente a través de las heces.

ANEXO I. Fármacos utilizados para el tratamiento de la contaminación con distintos radionucleidos

Se incluyen:

1. **ALGINATO (Gaviscon)**
2. **ACETAZOLAMIDA (Diamox)**
3. **AZUL DE PRUSIA (Ferrocianuro férrico)**
4. **BICARBONATO DE POTASIO**
5. **BICARBONATO DE SODIO**
6. **CLORTALIDONA**
7. **CLORURO DE AMONIO**
8. **DESFEROXAMINA B (Desferal)**
9. **DIMERCAPROL (BAL)**
10. **DMPS (Dimaval)**
11. **DTPA (Ácido dietiltriaminopentacético)**
12. **EDTA (etilendiaminotetracético)**
13. **FOSFATO DE ALUMINIO**
14. **FUROSEMIDA**
15. **GLUCONATO DE CALCIO**
16. **GLUCONATO DE COBALTO**
17. **HIDRÓXIDO DE ALUMINIO (Aludrox)**
18. **IODURO DE POTASIO**
19. **LACTATO DE ESTRONCIO**
20. **PENICILAMINA (Cuprimine)**
21. **RODIZONATO DE POTASIO**
22. **SULFATO DE BARIO**
23. **SULFATO DE MAGNESIO**
24. **SULFATO DE SODIO**
25. **TIOSULFATO DE SODIO (Hiposulfito de sodio)**
26. **FÁRMACOS EN ETAPA EXPERIMENTAL**

1. ALGINATO

Se trata habitualmente de alginato de sodio o calcio. Es un producto utilizado para el tratamiento del reflujo gastroesofágico, que tiene la propiedad de formar un gel de alta viscosidad. Estas sustancias inhiben la absorción intestinal de metales alcalinotérreos, estroncio, calcio, bario, radio.

Comercialización: el alginato se comercializa bajo el nombre comercial de **GAVISCON®** en distintas formas:

- Polvos granulados (sobres de 1 g)
- Tabletas masticables (0,5 g)
- Suspensión bebible (0,05 g/ml)

Tratamiento: consiste en la administración de 10 g/día de alginato por vía oral en una toma única o distribuidos en dos tomas el primer día. Puede continuarse el tratamiento, de acuerdo a la importancia de la contaminación, a razón de 4 g/día distribuidos en 4 tomas. Las tomas deben producirse preferentemente en ayunas y se recomienda no ingerir alimentos posteriormente en forma inmediata.

Contraindicaciones: No presenta contraindicaciones. No obstante puede presentar inconvenientes asociados al aporte de sodio, particularmente en pacientes sometidos a dietas hiposódicas. Asimismo, en diabéticos se deberá considerar el aporte de azúcar (700 mg por tableta). Excepcionalmente puede inducir constipación.

2. ACETAZOLAMIDA **(Diamox)**

Se trata de un diurético inhibidor de la anhidrasa carbónica utilizado particularmente en el tratamiento del glaucoma y en la profilaxis del mal de altura. En el caso de una contaminación interna con uranio podría estar indicado con el objeto de disminuir la reabsorción de uranio a nivel de los túbulos renales.

Comercialización: Se comercializa en nuestro país bajo el nombre de **DIAMOX®** en comprimidos de 250 mg.

Tratamiento: La posología habitual es de 1 comprimido 3 a 4 veces por día. Si se dispusiera de formas inyectables puede administrarse por vía I.V. o I.M. una ampolla.

3. AZUL DE PRUSIA (FERROCIANURO FÉRRICO)

El Azul de Prusia no atraviesa la barrera intestinal.

Está indicado en todas las formas de contaminación con cesio radiactivo, rubidio y talio.

Previene la absorción inicial en la contaminación del tracto digestivo y rompe el ciclo secreción-reabsorción del cesio que ocurre en todas las formas de contaminación. Actúa como intercambiador de iones frente a ciertos cationes monovalentes. Es más eficaz en su forma coloidal soluble.

Comercialización: el Azul de Prusia no se comercializa actualmente en nuestro país. Alemania: **RADIOGARDASE HEYL®**

Tratamiento: La vía de administración es oral con una posología recomendada de 3-4 g de Azul de Prusia, en 3 dosis divididas durante el día.

Este tratamiento puede ser continuado en los días sucesivos, de acuerdo a la severidad de la contaminación. La experiencia más importante con este producto fue la realizada durante el tratamiento de las víctimas del accidente ocurrido en Goiania, Brasil. En esa ocasión se alcanzaron dosis muy superiores sin observar efectos adversos severos, excepto constipación. No presenta contraindicaciones.

4. BICARBONATO DE POTASIO

Se utiliza para el tratamiento de la contaminación con potasio radiactivo.

El tratamiento consiste en la dilución isotópica. El potasio es absorbido rápidamente y casi completamente en intestino y es excretado por vía renal.

Posología: 4 g diarios de potasio estable por vía oral como bicarbonato de potasio, no más de 3 días.

5. BICARBONATO DE SODIO

Se trata de una solución acuosa isotónica de 14 g/l (1,4%) de bicarbonato de sodio.

El uso principal del bicarbonato de sodio es el tratamiento de la contaminación con uranio. En los fluidos corporales, el uranio se encuentra en forma de ión uranilo UO_2^{++}.

La alcalinización por bicarbonato de sodio genera la formación de un complejo aniónico, probablemente $UO_2 (CO_3)_3$ el cual es rápidamente eliminado por orina.

Comercialización: El bicarbonato de sodio isotónico se comercializa por varios laboratorios. Se presenta en frascos de 150, 500 y 1000 ml y en ampollas de 10 y 20 ml.

Administración sistémica: 250 ml de solución isotónica (1,4%) por infusión intravenosa lenta.

Lavados cutáneos: en contaminación de piel intacta o heridas con uranio, realizar lavados con solución de bicarbonato de sodio al 1,4%.

El tratamiento se continuará los días subsiguientes según la importancia de la contaminación. La posología debe ser adaptada en función de los siguientes elementos de apreciación:

Precauciones: se deberá controlar el pH sanguíneo y la concentración de electrolitos. La administración de bicarbonato de sodio puede producir hipokalemia o agravar una hipokalemia ya existente. Esto puede prevenirse mediante la administración de un suplemento de potasio. Se deberán controlar posibles asociaciones medicamentosas: existen numerosas incompatibilidades relacionadas con la alcalinidad de la solución.

Contraindicaciones:
Alcalosis
Acidosis respiratoria
Pacientes con retención de sodio

Riesgo de sobredosis de bicarbonato de sodio: alcalosis metabólica con depresión respiratoria, hipokalemia, edema agudo de pulmón, e insuficiencia cardiaca.

6. CLORTALIDONA

Es un saldiurético que favorece la eliminación urinaria de sodio, tritio y otros radionucleidos.

Comercialización: bajo el nombre de **HYGROTON®** en comprimidos de 50 y 100 mg.

Tratamiento: La dosis habitual es de 100 mg en una toma única el primer día, seguido de 50 mg/día (o 100 mg día por medio) los días subsiguientes, dependiendo de la importancia de la contaminación.

Contraindicaciones: Está contraindicado su uso en pacientes con insuficiencia renal grave, encefalopatía hepática, hipersensibilidad a las sulfamidas, lactancia (pasa a la leche materna). Se deberá controlar el equilibrio hidroelectrolítico (particularmente medir periódicamente natremia y kalemia). En diabéticos, controlar estrictamente la glucemia. Se recomienda disminuir las dosis en pacientes con antecedentes de gota (no administrar durante las crisis). No recomendado en pacientes bajo tratamiento con litio, antihipertensivos, antidiabéticos, digitálicos o corticoesteroides.

La sobredosis de clortalidona puede producir hiponatremia, hipokalemia, pancreatitis aguda y neutropenia.

Efectos colaterales: Se han descripto efectos colaterales luego de la administración prolongada y a altas dosis.

7. CLORURO DE AMONIO

Libera iones hidrógeno y cloruro, lo que acidifica el medio y favorece así la forma ionizada de los iones alcalino-térreos. Esto resulta en una excreción urinaria aumentada de estos radioelementos.

Comercialización: Se comercializa bajo la forma de grageas de 0,5 g.

Tratamiento: Se recomienda una dosis de 6 g (12 grageas) por vía oral en 3 tomas repartidas en el día (4 grageas por toma), si es posible durante las comidas. El tratamiento se continuará los días subsiguientes según la importancia de la contaminación, a razón de 3 a 6 g por día.

Contraindicaciones: El tratamiento está contraindicado en todos los estados de acidosis, litiasis de uratos, insuficiencia hepática grave con hiperamonemia, nefritis urémicas y acidosis renal hiperclorémica. La sobredosis con cloruro de amonio produce acidosis metabólica que puede ser tratada con perfusiones IV de soluciones alcalinizantes (bicarbonato de sodio) bajo control constante de la kalemia.

8. DESFEROXAMINA

Se presenta como metan-sulfonato de desferoxamina B. Su mecanismo de acción es la quelación seguida de la eliminación del complejo radionucleido-desferoxamina en la orina. Está indicada en el tratamiento de la contaminación con manganeso, hierro y cromo.

Comercialización: Se comercializa bajo el nombre de **DESFERAL®** en frascos de 500 mg liofilizados acompañados de una ampolla de 5 ml de agua estéril para inyección IM o SC o infusión IV lenta.

Tratamiento: La posología recomendada es de 1 g/día (2 ampollas) el primer día seguido de 500 mg los días subsiguientes según la importancia de la contaminación. La forma de administración puede ser:

- **a.** En perfusión IV muy lenta, diluido en 250 ml de una solución isotónica de NaCl al 0,9%.
- **b.** En perfusión IV muy lenta, diluido en 250 ml de una solución isotónica de glucosa al 5%.
- **c.** Inyección IM (en una o dos veces).
- **d.** Por sonda nasogástrica, hasta 8 g (16 ampollas).

La administración subcutánea es más adecuada para tratamientos prolongados (mediante bomba portátil de infusión continua).

Efectos adversos: taquicardia, hipotensión, seudo-shock, eritema, urticaria, trastornos digestivos, vértigos, convulsiones, alteraciones visuales y auditivas.

La desferoxamina se reveló como teratogénica en modelos de experimentación animal.

9. B.A.L. **(Dimercaprol)**

Se trata de un agente en cuya estructura química presenta grupos sulfhidrilos. Está indicado en el tratamiento de intoxicaciones con metales pesados tales como plomo, polonio, antimonio, bismuto, arsénico, cadmio, cobre, mercurio, oro, etc.

Comercialización: No se comercializa en nuestro país. Existe en forma de ampollas de 2 ml conteniendo 200 mg de dimercaprol.

Reacciones adversas: Su efectividad es variable y puede presentar numerosas reacciones adversas por lo que no se recomienda prolongar su administración más allá de tres días. La acción del fármaco tiene lugar en sangre periférica.

Tratamiento: La dosis recomendada es de 3 mg/kg peso vía IM cada 4 horas. Se presenta en ampollas de 2 ml (200 mg). La posología para un adulto medio es 1 ampolla cada 4 horas. El tratamiento debe hacerse bajo estricto control clínico (condiciones hospitalarias). Se deberá testear la sensibilidad individual administrando la primera vez un cuarto de ampolla.

Se ha propuesto el uso alternativo del Dimercaptopropansulfonato (**DMPS**), **DIMAVAL® HEYL** que tendría menos efectos adversos.

10. DMPS **(Dimercaptopropansulfonato)**

Indicado para el tratamiento de la contaminación interna con mercurio, plomo y polonio. Hay algunas evidencias de su efectividad para el tratamiento de la contaminación con arsénico, cobre, antimonio, cromo y cobalto. Se presenta en forma de sal sódica (dimercaptopropansulfonato de sodio, forma monohidratada). Su mecanismo de acción es la quelación.

Comercialización: No se comercializa en nuestro país. Existe en forma de cápsulas de 100 mg de DMPS sal sódica **(DIMAVAL®)** cajas x 20 Heyl Lab) y en ampollas de 5 ml conteniendo 250 mg de DMPS sal sódica (**DMPS®** cajas x 5 ampollas Heyl Lab).

Posología: dependerá de la severidad de la contaminación. Se recomiendan 3 cápsulas cada 3 a 6 horas el primer día. Los días subsiguientes cada 8 a 12 horas. Sólo si no fuera posible la administración oral se indicará tratamiento parenteral:

- Primer día: 250 mg (1 ampolla) vía IV lenta cada 3 a 4 horas (1,5 a 2 g/día).
- Segundo día: 250 mg de DMPS IV lento cada 4 a 6 horas (1 a 1,5 g/día).
- Tercer día: 250 mg de DMPS IV lento o intramuscular cada 6 a 8 horas (0,75 a 1 g/día).
- Cuarto día: 250 mg de DMPS IV lento o intramuscular cada 8 a 12 horas (0,5 a 0,75 g/día).
- Días subsiguientes: de acuerdo a la condición del paciente 1 a 3 veces 250 mg por vía parenteral o cambiar por la vía oral (Dimaval cápsulas).

La duración del tratamiento se ajustará de acuerdo a las condiciones clínicas y al monitoreo de la excreción urinaria del radionucleido.

Contraindicaciones: hipersensibilidad.

Efectos adversos: ocasionalmente, fiebre, escalofríos, reacciones cutáneas, mareos, vértigos, vómitos, aumento transitorio de las transaminasas, hipotensión arterial. Se vigilará la función renal y el balance mineral en tratamientos prolongados.

11. DTPA **(Ácido dietilentriaminopentacético)**

El DTPA es usado como sal trisódica de calcio o zinc (DTPA-Ca o DTPA-Zn), es un agente quelante que actúa formando complejos con ciertos radionucleidos.

El DTPA está indicado en la contaminación con plutonio y, en general, para transuránidos, lantánidos y conveniente para manganeso, hierro, plomo, cobalto, zirconio, rutenio, itrio, indio y cromo. Excepcionalmente puede quelar mercurio en su forma química de valencia 2 (Hg^{2+}).

El DTPA-Zn está indicado en el tratamiento de la contaminación con zinc.

Comercialización: El DTPA no se comercializa en nuestro país. Existe en otros países con diferentes presentaciones:

- Solución concentrada estéril al 20-25% (0,20 - 0,25 g de DTPA por ml) en ampollas de 2 ml y de 4 ml.

- Cápsulas de DTPA micronizado para aerosol (50 - 100 mg por cápsula).
- Solución ácida al 1% (pH 4) (1g de DTPA-Ca por 100 ml de solución, en frascos de 500 ml).

Tratamiento: DTPA, vías de administración y dosis usual.

Vías de administración: Sistémica
Respiratoria
Oral
Infiltración local
Lavados cutáneos

Administración sistémica: la dosis usual de 0,5 g de DTPA (para una persona de aproximadamente 70 kg de peso) puede ser administrada como inyección intravenosa lenta o diluida en 250 ml de solución isotónica de cloruro de sodio al 0,9% o solución glucosada al 5%, por infusión intravenosa.

En caso de accidentes severos, la dosis puede ser duplicada en la primera administración después de ocurrido. El **DTPA-Ca (DITRIPENTAT®-HEYL)** es más eficaz al comienzo del tratamiento. Si el tratamiento debe ser continuado más allá de la primera semana, dependiendo de la severidad del accidente, sería aconsejable continuar con **DTPA-Zn (ZINK-TRINATRIUM-PENTETAT®)**, pues es potencialmente menos tóxico.

La dosis no debe exceder de 0,5 g/día para los tratamientos prolongados, y en los casos que sea necesario, la dosis de DTPA-Zn debe ser reducida en este tipo de tratamientos.

Administración respiratoria: se puede utilizar inhalación durante 30 minutos de un aerosol de DTPA (1 ampolla de DTPA en 4 ml de solución fisiológica) o 1 cápsula de polvo micronizado para ser utilizadas en un turboinhalador tipo **SPINHALER**.

Esta terapia puede ser repetida por varios días.

Administración oral: en caso de pacientes que deben ser tratados por largos períodos de tiempo, es posible el uso de cápsulas de DTPA-Zn micronizado, a razón de 1g/día. Por períodos cortos de tiempo se pueden administrar hasta 5 g/día.

Lavados cutáneos: Lavados de piel intacta con solución ácida (pH 4-5) de DTPA-Ca al 1-2%. Heridas, con solución estéril de DTPA-Ca al 20-25%. Superficies mucosas con solución de DTPA-Ca al 1-2%.

DTPA: toxicidad y contraindicaciones

El DTPA-Ca está contraindicado en:

- Enfermedades Renales
  Intestinales
  Hemopoyéticas
- Embarazo

El DTPA no debe ser usado en casos de contaminación masiva con uranio, debido al riesgo de producir una nefritis aguda por precipitación del uranio en el riñón. Durante la infusión con solución de DTPA, se debe controlar la tensión arterial. Debido a su potencial daño renal, hepático y gastrointestinal, en pacientes tratados con DTPA, especialmente DTPA-Ca, por períodos prolongados de tiempo, deben ser monitoreadas las funciones renal, hepática y gastrointestinal.

12. EDTA

La sal cálcica de ácido etilendiaminotetracético (EDTA-Ca) es el quelante más usado en el hombre, primariamente para el tratamiento del envenenamiento con plomo. Puede ser usado asimismo para quelar plutonio, zinc, cobre, cadmio, cromo, manganeso y níquel. Tiene cierta efectividad como quelante de otros metales y para la dilución isotópica en casos de contaminación con calcio. El DTPA es significativamente más efectivo que el EDTA por lo cual éste último no es considerado un fármaco de primera elección.

13. FOSFATO DE ALUMINIO COLOIDAL

Es usado como un adsorbente en el tracto gastrointestinal. Reduce la absorción de alcalinos térreos, tales como radio, bario y estroncio.

Comercialización: El fosfato de aluminio coloidal se comercializa en algunos países, bajo la forma de sobres conteniendo 11 g de fosfato de aluminio (**FOSFALUGEL®**).

Vía de administración: oral.

Dosis: en la emergencia se administran 5 sobres (55 g de fosfato de aluminio) en una sola toma. El tratamiento debe ser continuado en días siguientes con 1-2 sobres, 2-3 veces al día, dependiendo de la severidad de la contaminación.

Precauciones: Se deben tomar precauciones con los diabéticos, ya que cada sobre de fosfato de aluminio contiene 3 g de glucosa.

Efectos colaterales: El efecto colateral más frecuente que se puede presentar es la constipación. Puede haber interacciones medicamentosas que induzcan un retardo o disminución de la absorción de furosemida, tetraciclinas, digoxina, isoniazida, indometacina y anticolinérgicos.

14. FUROSEMIDA

Droga de acción diurética utilizada para el tratamiento de la contaminación con sodio, potasio, cloro y tritio.

Comercialización: la furosemida se comercializa en nuestro país como **LASIX®**, bajo la forma de comprimidos conteniendo 40 mg y ampollas de 20 mg.

Vía de administración: oral y parenteral.

Dosis: se recomiendan de 20 a 80 mg/día por vía oral y dosis mínima parenteral de 20 mg/día.

Contraindicaciones: insuficiencia renal con anuria, coma hepático, hipokalemia, hiponatremia, hipovolemia, hipotensión, hipersensibilidad a las sulfonamidas.

Efectos colaterales: trastornos del equilibrio electrolítico (hipokalemia, hiponatremia), aumento de la eliminación del calcio, reacciones alérgicas, alteraciones hematopoyéticas, trastornos auditivos y gastrointestinales.

15. GLUCONATO DE CALCIO

Está indicado en el caso de contaminación por alcalinos térreos (calcio, estroncio, bario, radium). El mecanismo de acción es la dilución isotópica y la competición resultante de la analogía química. El ciclo metabólico de los alcalino térreos es así acelerado y desviado hacia la excreción.

Comercialización: Se comercializa en forma en ampollas inyectables y bebibles de 5 y 10 ml, a razón de 100 mg de gluconato de calcio por ml de agua (solución al 10%), lo que equivale a 9 mg/ml de calcio.

Tratamiento: Puede administrase por vía oral, en dosis de 6-10 g por día repartidos en 3 tomas, durante las comidas (6 a 10 ampollas de 10 ml). Por vía IV se deben infundir en forma lenta de 1 a 5 g (1 a 5 ampollas de 10 ml) diluidos en 500 ml de una solución glucosada al 5%. El tratamiento se continúa los días subsiguientes según la importancia de la contaminación.

Contraindicaciones: Está contraindicado en la hipercalcemia, hipercalciuria, litiasis cálcica, nefrocalcinosis. No administrar a pacientes digitalizados pues podría potenciar la toxicidad de la droga (en casos excepcionales hacerlo bajo estricta vigilancia). Vigilar la calcemia y calciuria en casos de administración prolongada. Pueden observarse síntomas y signos debidos a sobredosis tales como sed, poliuria, polidipsia, náuseas, vómitos, deshidratación, hipertensión arterial, trastornos vasomotores, constipación.

16. GLUCONATO DE COBALTO

Actúa por el mecanismo de dilución isotópica que acelera el ciclo metabólico del cobalto aumentando de este modo su excreción.

Comercialización: No se comercializa en nuestro país. Existe en otros países bajo la forma de ampollas de 2 ml conteniendo 450 μg (0,45 mg) de gluconato de cobalto que corresponden a 59 μg de cobalto (**COBALT OLIGOSOL**).

Tratamiento: Se administran 900 μg de gluconato de cobalto (dos ampollas), por vía IM o sublingual. El tratamiento puede continuar los días siguientes, según la importancia de la contaminación, a razón de 1 a 2 ampollas por día. No se ha descripto toxicidad hasta la fecha.

17. HIDRÓXIDO DE ALUMINIO **(ALUDROX)**

Indicado para el tratamiento de la contaminación con potasio, polonio, mercurio y fósforo.

Comercialización: gel de hidróxido de aluminio (**ALUDROX®**).

Posología: 100 ml/día distribuidos en 3 tomas.

Contraindicaciones: hipofosfatemia, insuficiencia renal.

Efectos adversos: constipación.

18. IODURO DE POTASIO

El yodo estable bloquea en un 98% el ingreso de radioiodos a la glándula tiroides si se lo administra unos minutos antes de la incorporación. Si la administración es simultánea la eficacia desciende al 90% siendo del orden del 50% cuando el yodo se administra entre 4 y 6 horas post-incorporación.

Mediante un mecanismo de dilución isotópica compite con el radioiodo por el ingreso al compartimiento tiroideo. A su vez una sobrecarga de yodo estable puede saturar parcialmente el mecanismo de transporte interno del yodo y causar el llamado fenómeno de Wolff-Chaikoff, disminuyendo finalmente el nivel circulante de hormona tiroidea.

La eficacia del bloqueo por yodo estable depende de factores intrínsecos de la glándula tiroides relacionados con su estado funcional y con el aporte alimentario de yodo estable en la dieta. Esta diferencia se refleja en una avidez distinta por los radioiodos y en la sensibilidad de la glándula al bloqueo con yodo estable.

Reacciones adversas: el bloqueo prolongado de la captación del yodo necesario para la síntesis de la hormona tiroidea puede llevar a la disminución de la actividad metabólica y al eventual aumento compensatorio del tamaño glandular. En términos generales no se observan tales efectos en individuos normales, luego de una administración a dosis adecuadas y por un período no mayor de dos semanas. Una sobrecarga de yodo estable puede desencadenar reacciones tiroideas autoinmunes en individuos predispuestos o agravar el curso de tiroiditis preexistentes.

Se sabe que existe hipersensibilidad al yodo particularmente por administración endovenosa de medios de contraste iodados con fines diagnósticos. Las reacciones no son tan frecuentes ni tan severas luego de la administración oral. Se estima que el riesgo de efectos adversos debidos a la administración de yodo estable es de 5×10^{-7}.

Contraindicaciones: Hipersensibilidad conocida al yodo, tiroiditis de Hashimoto, enfermedad de Basedow, otras tiroideopatías autoinmunes, vasculitis hipocomplementémica, dermatitis herpetiforme.

Forma farmacéutica: La tableta de ioduro de potasio es la forma más ampliamente usada. No se recomiendan las soluciones por la falta de precisión en las dosis y por las dificultades que presentan para su almacenamiento y distribución. La forma más utilizada son las tabletas de ioduro de potasio de 130 mg conteniendo 100 mg de yodo activo.

Posología: Ante la sospecha de una contaminación con radioiodo, se deben administrar inmediatamente 100 - 300 mg de ioduro de potasio o sodio. La dosis recomendada es 130 mg de ioduro de potasio (100 mg de yodo activo) por vía oral en una toma única. Hay consenso internacional acerca de la conveniencia de adecuar las dosis al grupo etario a fin de minimizar los riesgos de efectos adversos. La Organización Mundial de la Salud propone el siguiente esquema:

GRUPO ETARIO	MASA DE YODO ACTIVO (dosis diaria)
Menos de 1 mes	12,5 mg (*)
1 mes a 3 años	25 mg
3 a 12 años	50 mg
Adolescentes y adultos	100 mg

(*) en la emergencia se le podrían administrar 25 mg como dosis única con seguimiento posterior de la función tiroidea del recién nacido.

Duración del tratamiento: en el caso de un exposición única bastaría una sola dosis. Si se trata de obtener una protección frente a una exposición prolongada se mantendrá la profilaxis con una sola toma diaria durante varios días, manteniendo el esquema de dosis propuesto. No se recomienda prolongar el tratamiento más allá de un día en los recién nacidos y dos días en las mujeres gestantes: de acuerdo al caso particular se evaluará la necesidad de otras contramedidas en estos grupos.

19. LACTATO DE ESTRONCIO

Su mecanismo de acción es la dilución isotópica que acelera el ciclo metabólico del estroncio y de ese modo acelera también su excreción. El lactato de estroncio se administra por vía oral. Existe otra sal, el gluconato de estroncio que se administra por vía parenteral. No se comercializan en nuestro país.

La posología recomendada es:

- Lactato de estroncio: 500 a 1500 mg por vía oral por día, repartidos en varias tomas, durante las comidas.
- Gluconato de estroncio: perfusión IV lenta, a razón de 600 mg en 500 ml de una solución isotónica de glucosa al 5%.

El tratamiento puede continuar los días subsiguientes, según la importancia de la contaminación, con igual posología diaria. No se ha descripto toxicidad asociada al tratamiento.

20. PENICILAMINA

Indicada para quelar cobre, cobalto, plomo, polonio, oro, hierro, mercurio y otros metales pesados.

Comercialización: se comercializa bajo el nombre de **CUPRIMINE®**, cápsulas de 250 mg.

Posología: 1-3 cápsulas cada 8 horas.

Contraindicaciones: embarazo, lactancia, anemias, enfermedades renales.

Efectos adversos: Reacciones hematológicas, renales, dermatológicas. Epigastralgias, náuseas, vómitos.

21. RODIZONATO

Se presenta en forma de sal sódica y potásica, ambas eficaces. Es un fármaco de uso externo que se aplica en el caso de heridas contaminadas con estroncio, con el objeto de insolubilizarlo in situ a fin de evitar su absorción. Debe ser por lo tanto aplicado en forma inmediata, previo a cualquier manipulación quirúrgica de la herida.

Es un polvo cristalino de color violeta, hidrosoluble (vira su color al naranja al disolverlo en agua), insoluble en alcohol. Las soluciones son inestables aún refrigeradas. Se aplica esparciendo 1 g de rodizonato a nivel de la herida contaminada.

No presenta contraindicaciones.

22. SULFATO DE BARIO

Produce con el estroncio y el radium sulfatos insolubles que disminuyen considerablemente la absorción intestinal de estos radionucleidos. Es un medio de contraste utilizado en exámenes radiodiagnósticos del tubo digestivo, comercializado por varios laboratorios.

Se administra por vía oral una dosis única de 300 mg de sulfato de bario en suspensión acuosa. No presenta toxicidad ni contraindicaciones.

23. SULFATO DE MAGNESIO

Es un laxante salino que acelera el tránsito intestinal y por consecuencia la evacuación de radionucleidos presentes en el tracto digestivo. Está particularmente indicado en la contaminación por radium y estroncio, pues la formación de sulfatos insolubles provoca una disminución neta de su absorción intestinal. Está indicado también para acelerar la eliminación de cobalto, polonio, plutonio y transplutónidos.

Comercialización: bajo la forma de solución concentrada al 25% (0,25 g por ml) ampollas de 5 ml (1,25 g) y de 10 ml (2,5 g).

Posología y vías de administración: Se administra por vía oral, 10 a 15 g por día (4 a 6 ampollas de 10 ml) el primer día. El tratamiento puede continuarse durante algunos días según la importancia de la contaminación y la susceptibilidad individual a la acción laxativa. En ese caso se continuará los días subsiguientes con 5 a 10 g por día (2 a 4 ampollas de 10 ml).

Contraindicaciones: el sulfato de magnesio está contraindicado en insuficiencia renal grave, enfermedades inflamatorias del colon y obstrucción de vías biliares.

24. SULFATO DE SODIO

Está indicado para el tratamiento de la contaminación con selenio. Su administración oral incrementa su excreción.

25. TIOSULFATO DE SODIO

Produce dilución isotópica en casos de contaminación con azufre.

Se puede administrar por vía oral o por vía parenteral en solución al 10%. Dosis única de 1g.

26. FÁRMACOS EN ETAPA EXPERIMENTAL

Existe un grupo de fármacos análogos de los sideróforos cuya aplicabilidad en el tratamiento de la contaminación interna con radionucleidos está siendo actualmente estudiada.

La 3,4,3, hydroxypiridinona (LIHOPO) ha demostrado su utilidad en la descontaminación de americio, torio, neptunio y plutonio, con una eficacia mayor a la que presenta el DTPA, tanto en administración por vía sistémica como en la administración local en el caso de heridas contaminadas. La eficacia de su administración en forma de aerosol no ha sido aún demostrada. Se encuentran en marcha estudios de toxicidad que deberán completarse antes de evaluar su aplicabilidad en humanos.

Se comenzaron los ensayos preliminares con un nuevo análogo sideróforo (TREN-3,2-HOPO) que sugieren una efectividad similar al anterior. Otros análogos han sido descartados debido a su toxicidad renal (3,4,3,-LICAM).

ANEXO II. Información básica para el tratamiento de la contaminación radiactiva interna

SE INCLUYEN LOS SIGUIENTES RADIONUCLEIDOS:

1. **AZUFRE (S)**
2. **BROMO (Br)**
3. **CALCIO (Ca)**
4. **CARBONO (C)**
5. **CESIO (Cs)**
6. **COBALTO (Co)**
7. **CROMO (Cr)**
8. **ESTRONCIO (Sr)**
9. **FÓSFORO (P)**
10. **GASES NOBLES (Xe, K_2)**
11. **HIERRO (Fe)**
12. **INDIO (In)**
13. **YODO (I)**
14. **ITRIO (Y)**
15. **LANTÁNIDOS**
16. **MANGANESO (Mn)**
17. **MERCURIO (Hg)**
18. **ORO (Au)**
19. **PLOMO (Pb)**
20. **PLUTONIO (Pu)**
21. **POLONIO (Po)**
22. **POTASIO (K)**
23. **PRODUCTOS DE FISIÓN**
24. **RADIO (Ra)**
25. **SELENIO (Se)**
26. **SODIO (Na)**
27. **TECNESIO (Tc)**
28. **TRANSPLUTÓNIDOS (H^5)**
29. **TRITIO (H_3)**
30. **URANIO (U)**
31. **ZINC (Zn)**

1. AZUFRE (S^{35})		
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo Órgano crítico		β^- 88 días 7 días 6,5 días Cuerpo entero
ALI	Ingestión Inhalación	2,6 E+7 Bq 1,5 E+7 Bq
Tratamiento	**Dilución isotópica.** Tiosulfato de sodio 1 x 1 g, vía oral	
Monitoreo personal	Análisis radiotoxicológico de orina	

2. BROMO (Br^{82})		
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo Órgano crítico		β^- γ 35,6 horas 8 días 1,27 días Cuerpo entero
ALI	Ingestión Inhalación	3,7 E+7 Bq 2,3 E+7 Bq
Tratamiento	Aumentar la diuresis. Ingesta de líquidos. Administración de diuréticos	
Monitoreo personal	Análisis radiotoxicológico de orina	

3. CALCIO (Ca^{45}) (Ca^{47})			**Ca 45**	**Ca 47**
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo Órgano crítico			β^- 165 días $1,8 \times 10^4$ días 164 días Hueso	β^- γ 4,53 días $1,8 \times 10^4$ días 4,54 días Hueso
ALI	Ca^{45}	Ingestión Inhalación	2,6 E+7 Bq 7,4 E+6 Bq	
	Ca^{47}	Ingestión Inhalación	1,3 E+7 Bq 9,5 E+6 Bq	
Tratamiento		**Dilución Isotópica:** gluconato de calcio ampollas (10%) de gluconato de calcio en 500 ml de solución glucosada al 5%, por vía intravenosa lenta.		
Monitoreo personal		Orina. Contaje de cuerpo entero (Ca^{47})		

4. CARBONO (C^{14})		
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo Órgano crítico		β^- 5730 años 0,4 días 0,4 días Cuerpo entero
ALI	Ingestión Inhalación	3,4 E+7 Bq 3,4 E+7 Bq
Tratamiento	En vista de la corta vida media biológica generalmente no requiere acción terapéutica.	
Monitoreo personal	Orina. Aire exhalado	

5. CESIO (Cs^{137})		
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo Órgano crítico		β^- γ 30 años 70 días 70 días Cuerpo entero
ALI	Ingestión Inhalación	1,5 E+6 Bq 3,0 E+6 Bq

Tratamiento	Todos los compuestos de cesio deben ser considerados solubles. Son absorbidos rápidamente, por lo que el tratamiento es de urgencia. Precipitar el radionucleido a nivel intestinal, tanto en las contaminaciones con puerta de entrada digestiva, como en las contaminaciones del aparato respiratorio o heridas. **AZUL DE PRUSIA** (ferrocianuro férrico), 1g disuelto en un vaso con agua (o 2 cápsulas), 3 veces al día.
Monitoreo personal	Orina. Heces. Contaje de cuerpo entero

6. COBALTO (Co)			**Co^{57}**	**Co^{58}**	**Co^{60}**
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo			e- γ 270 días 125 días 85,5 días	β+ γ 71,3 días 125 días 45,5 días	β- γ 5,26 años 125 días 117 días
Órgano crítico			PULMÓN: para los compuestos no transportables el órgano crítico es el tracto gastrointestinal		
ALI	Co^{57}	Ingestión Inhalación	9,5 E+7 Bq 2,1 E+7 Bq		
	Co^{58}	Ingestión Inhalación	2,7 E+7 Bq 1,0 E+7 Bq		
	Co^{60}	Ingestión Inhalación	5,9 E+6 Bq 6,9 E+5 Bq		
Tratamiento			Como la mayoría de las sales de cobalto son insolubles, no es necesario una terapia especial después de la ingestión. Administrar un laxante para acelerar el tránsito gastroinestinal, 10 g de sulfato de magnesio, vía oral. **Herida contaminada:** lavar con solución concentrada de DTPA-Ca. Inyección endovenosa lenta de 0,5 g de DTPA-Ca (media ampolla) en 250 ml de solución fisiológica o glucosada. A esta quelación se puede asociar una dilución isotópica por administración de gluconato de cobalto, 2 ampollas de 450 μg por vía intramuscular o sublingual. **Contaminación respiratoria:** inhalación de un aerosol de DTPA, 1 ampolla (1 g) en un inhalador convencional o 1 cápsula de DTPA micronizado en un generador tipo Sphinaler.		
Monitoreo personal			Medición directa (CTC). Análisis radiotoxicológico de orina		

7. CROMO (Cr^{51})				
Tipo de emisión		e-	x	γ
Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo Órgano crítico		27,8 días Pulmón 125 días Pulmón 22,8 días Tracto Gastrointestinal. Pulmón		
ALI	Ingestión Inhalación	5,3 E+8 Bq 5,6 E+8 Bq		
Tratamiento		**Quelación:** 0,5 g DTPA-Ca (media ampolla), inyección endovenosa lenta. **Herida:** lavar con solución concentrada de DTPA-Ca. **Tratamiento alternativo:** DFOA (desferrioxamina B ó Desferal®), dosis de 1 g por vía intramuscular. **Herida:** irrigar con solución concentrada de DFOA.		
Monitoreo personal		Análisis radiotoxicológico de orina		

8. ESTRONCIO (Sr)			**Sr^{85}**	**Sr^{89}**	**Sr^{90}**
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo			γ 64 días $1{,}8 \times 10^4$ días 64 días	β- 52 días $1{,}8 \times 10^4$ días 52 días	β- 28,1 años $1{,}8 \times 10^4$ días $6{,}4 \times 10^3$ días
Órgano crítico			Hueso		
ALI	Sr^{85}	Ingestión Inhalación	3,6 E+7 Bq 2,6 E+7 Bq		
	Sr^{89}	Ingestión Inhalación	7,7 E+6 Bq 2,7 E+6 Bq		
	Sr^{90}	Ingestión Inhalación	7,1 E+5 Bq 1,3 E+5 Bq		
Tratamiento			**Herida Contaminada:** esparcir 1 g de Rodizonato de sodio o potasio, haciendo que el producto penetre en la zona contaminada. **Contaminación del aparato digestivo o respiratorio:** administrar por vía oral uno de los siguientes productos 10 g de Alginato de sodio o calcio en suspensión acuosa o 55 g de fosfato de aluminio coloidal o 100 g de sulfato de bario en suspensión acuosa. Se puede administrar 10g de sulfato de magnesio, para acelerar el pasaje a través del tracto digestivo, determinando una reducción en la absorción del Sr. **En todos los casos realizar tratamiento sistémico:** Dilución isotópica mediante la administración de una solución conteniendo 2-4 ampollas (10%) de gluconato de calcio en 500 ml de solución glucosada al 5%, por vía intravenosa lenta. Administrar por vía oral cloruro de amonio 2 g cada 8 horas.		
Monitoreo personal			Análisis radiotoxicológico de orina y heces		

9. FÓSFORO (P^{32})		
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo Órgano crítico		β- 14,3 d 1155 d 14,1 d Hueso
ALI	Ingestión Inhalación	8,3E+6 Bq 6,3E+6 Bq
Tratamiento		**Dilución Isotópica:** administrar fosfato de sodio (NEUTROPHOS) vía oral (2 cápsulas conteniendo 0,5 g de fósforo el primer día y luego 0,5 g/día). Hidróxido de aluminio gel (ALUDROX), vía oral, 100 ml/día, distribuidos en 3 tomas.
Monitoreo personal		Análisis radiotoxicológico de Orina

10. GASES NOBLES (Xe, Kn)
El xenón (emisor β-γ) y el kripton (emisor β) son gases inertes que no reaccionan con el material biológico, muy poco hidrosolubles y ligeramente liposolubles, por lo que no pueden derivar en una contaminación relevante. El riesgo real es el de la irradiación por exposición a una mezcla que los contenga.

11. HIERRO (Fe^{55}, Fe^{59})			**Fe^{55}**	**Fe^{59}**
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo			e^- x 2,6 a 600 días (bazo) 388 días (bazo)	$\beta\ \gamma$ 45 d 600 días (bazo) 41,9 días (bazo)
Órgano crítico			Bazo, hígado, médula ósea	
ALI	Fe^{55}	Ingestión Inhalación	6,1 E+7 Bq 2,2 E+7 Bq	
	Fe^{59}	Ingestión Inhalación	1,1 E+7 Bq 5,7 E+6 Bq	
Tratamiento		**Quelación:** **En todos los casos:** administrar por vía intramuscular 1 g (2 ampollas) de desferoxamina el primer día y 0,5 g/día los días sucesivos. Puede administrarse por vía IV lenta en 250 cc de solución glucosada o fisiológica (Cl Na 0,9%). **Tratamiento Alternativo:** DTPA en infusión lenta (hasta 1 g/día) en 250 cc de solución glucosada al 5% o fisiológica. **Contaminación Respiratoria:** inhalación de un aerosol de DTPA, 1 ampolla en un inhalador convencional o 1 cápsula de DTPA micronizado en un turboinhalador. **Herida contaminada:** lavar la herida con una solución de desferoxamina al 10% o solución concentrada de DTPA al 25%.	
Monitoreo personal		Medición directa (Fe^{59}). Análisis radiotoxicológico de orina		

12. INDIO (In^{113m})		
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo Órgano crítico		e^- , x , γ 99,4 minutos 60 días (riñón) 1,61 horas (riñón) Riñón, tracto gastrointestinal
ALI	Ingestión Inhalación	7,1 E+8 Bq 6,3 E+8 Bq
Tratamiento	No se requiere acción terapéutica debido al corto período de decaimiento efectivo (In^{113m}). En caso de contaminación con In^{114m}, debido a su larga vida media (t½ físico 49 días) está indicado el tratamiento quelante con una solución DTPA en infusión lenta (hasta 1 g/día) en 250 cc de solución glucosada al 5% o fisiológica.	
Monitoreo personal	Análisis radiotoxicológico de orina	

13. YODO (I^{123} , I^{125} , I^{131})	**I^{123}**	**I^{125}**	**I^{131}**
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico (*) Período de decaimiento efectivo	e^- , x , γ 13,3 horas 0,35 días/ 138 días 0,54 días	e^- , x 60,2 días 0,35 días/ 138 días 41,8 días	β^- , γ 8,05 días 0,35 días/ 138 días 7,6 días
Órgano crítico	Tiroides		

ALI	I^{123}	Ingestión Inhalación	9,5 E+7 Bq 1,8 E+8 Bq
	I^{125}	Ingestión Inhalación	1,3 E+6 Bq 2,7 E+6 Bq
	I^{131}	Ingestión Inhalación	9,1 E+5 Bq 1,8 E+6 Bq
Tratamiento		**Dilución isotópica.** Inicial: administrar por vía oral 1 a 2 comprimidos x 130 mg de ioduro de potasio, sodio o magnesio (100 mg de yodo activo). Días posteriores: 1 comprimido por día.	
Monitoreo personal		Medición directa Análisis radiotoxicológico de orina	

(*): dependiente del estado de la función tiroidea.

14. ITRIO (Y^{90})		
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo Órgano crítico		β^- 64 horas Tracto gastrointestinal
ALI	Ingestión Inhalación	7,4 E+6 Bq 1,2 E+7 Bq
Tratamiento	Administrar por vía oral 10g de sulfato de magnesio en 100-200 ml de agua para acelerar el pasaje a través del tracto digestivo, determinando una reducción del tiempo de permanencia. DTPA-Ca IV lento 0,5 g en 250 ml de solución fisiológica o glucosada.	
Monitoreo personal	Análisis radiotoxicológico de orina y Heces	

15. LANTÁNIDOS (Tierras raras: La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu)	**La^{140}**	**Ce^{144}**	**Hijas Pm^{144}**
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo Órgano crítico	$\beta^- \gamma$ 40,2 horas -------- -------- G.I.	$\beta^- \gamma$ 285 días 1500 días 243 días Hueso	$\beta^- \gamma$ 17,3 minutos -------- --------
	Pm^{147}	**Yb^{169}**	**Lu^{177}**
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo Órgano crítico	β^- 2,62 a 1500 días 570 días Hueso	x , γ 31,8 días 1000 días 29,8 días Hueso	$\beta^- \gamma$ 6,74 días -------- -------- G.I.
Tratamiento	**En todos los casos:** Inyectar 0,5 g de DTPA-Ca (½ ampolla) / 250 ml de solución fisiológica o glucosada por vía IV lenta. **a. Herida contaminada:** Lavar la herida con solución concentrada de DTPA-Ca (25% = 1 ampolla de 1 g). **b. Contaminación del aparato respiratorio:** nebulizar con aerosol de DTPA-Ca (1 ampolla) en un generador convencional o utilizar 1 cápsula de DTPA micronizado en un generador turboinhalador (Spinhaler). **c. Contaminación digestiva:** débil absorción por esta vía. Eventualmente se puede administrar por vía oral 10 g de sulfato de magnesio en 100-200 ml de agua para acelerar el pasaje a través del tracto digestivo.		
Monitoreo personal	Medición directa. Análisis radiotoxicológico de orina		

16. MANGANESO (Mn^{54})				
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo			x 314 días 125 días (pulmón) 88,5 días (pulmón)	γ 314 días 25 días (hígado) 23 días (hígado)
Órgano crítico			Pulmón e hígado	
ALI		Ingestión Inhalación	2,8 E+7 Bq 1,3 E+7 Bq	
Tratamiento		**a. Mn en forma catiónica: quelación.** Inyección IV lenta de 0,5 g de DTPA-Ca (media ampolla) en 250 ml de solución fisiológica o glucosada. Tratamiento alternativo: 1 g de Desferoxamina IM (2 ampollas de Desferal). Herida contaminada: lavar con solución concentrada de DTPA-Ca (1 ampolla) o solución concentrada de Deferoxamina (1 ampolla) y hacer el tratamiento sistémico correspondiente. Contaminación del aparato respiratorio: nebulizar con un aerosol de DTPA-Ca (1 ampolla) en un generador convencional o utilizar 1 cápsula de DTPA micronizado en un generador turboinhalador (Spinhaler). Inyectar 0,5 g de DTPA-Ca (½ ampolla) / 250 ml de solución fisiológica o glucosada por vía IV lenta. **b. Tratamiento Mn en compuestos aniónicos** (ejemplo: permanganato) no hay tratamiento eficaz.	
Monitoreo personal		Medición directa. Análisis radiotoxicológico de orina		

17. MERCURIO (Hg^{197}, Hg^{203})			**Hg^{197}**	**Hg^{203}**
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo Órgano crítico			e^- x γ 65 horas 14 días 2,3 días Riñón	β^- γ 46,6 días 14 días 11 días Riñón
ALI	Hg^{197}	Ingestión Inhalación	8,7 E+7 Bq 6,9 E+7 Bq	
	Hg^{203}	Ingestión Inhalación	1,1 E+7 Bq 8,7 E+6 Bq	
Tratamiento inicial		**Quelación** Dimercaptopropansulfonato (DMPS, Dimaval) vía oral, 3 cápsulas de 100 mg cada 3 a 6 horas. Alternativa: 3 mg/kg dimercaprol (BAL 1 ampolla de 200 mg) intramuscular cada 4 horas.		
Monitoreo personal		Medición directa. Análisis radiotoxicológico de orina		

18. ORO (Au^{198})			
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo Órgano crítico			β^- γ 2,7 días 1,5 días (riñón) 1 días (riñón) Riñón. Tracto gastrointestinal
ALI		Ingestión Inhalación	2,0 E+7 Bq 1,8 E+7 Bq
Tratamiento		*Quelación* Penicilamina: vía oral, 1-3 cápsulas de 250 mg cada 8 h. Tratamiento alternativo: BAL, 3 mg/kg peso de dimercaprol (BAL: 1 ampolla de 200 mg) por vía intramuscular cada 4 horas.	
Monitoreo personal		Medición directa. Análisis radiotoxicológico de orina	

19. PLOMO (Pb^{210})		
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo Órgano crítico		$\beta^- \gamma$ 21,4 a 1,5 años (riñón) 10 años (hueso) 1,2 años (riñón) 6,8 años (hueso) Riñón y hueso
ALI	Ingestión Inhalación	2,9 E+4 Bq 1,8 E+4 Bq
Tratamiento	*Quelación* Dimercaptopropansulfonato vía oral (DMPS, Dimaval) 3 cápsulas de 100 mg cada 3 a 6 horas. Alternativa: 3 mg/kg dimercaprol (BAL 1 ampolla de 200 mg) intramuscular cada 4 horas o inyección IV lenta de 0,5 g de DTPA-Ca (media ampolla) en 250 ml de solución fisiológica o glucosada.	
Monitoreo personal	Análisis radiotoxicológico de orina y Heces	

20. PLUTONIO (Pu^{238}, Pu^{239}, Pu^{241})			**Pu^{238}**	**Pu^{239}**
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo			α x 86 años 100 años 46,2 años	α x 24 360 años 100 años 100 años
Órgano crítico			Hueso	
ALI	Pu^{238}	Ingestión Inhalación	8,7 E+4 Bq 4,7 E+2 Bq	
	Pu^{239}	Ingestión Inhalación	8,0 E+4 Bq 4,3 E+2 Bq	
Tratamiento		*Quelación* **En todos los casos:** administrar por vía IV lenta 0,5 g de DTPA-Ca (½ ampolla) diluido en 250 ml de solución fisiológica o glucosada. **a. Herida contaminada:** lavar con solución concentrada de DTPA-Ca (1 ampolla). **b. Contaminación del aparato respiratorio:** nebulizar con un aerosol de DTPA-Ca (1 ampolla) en un generador convencional o utilizar 1 cápsula de DTPA micronizado en un generador turboinhalador (Spinhaler). **c. Contaminación digestiva:** débil absorción por esta vía. Administrar por vía oral 10g de sulfato de magnesio en 100-200 ml de agua para acelerar el pasaje a través del tracto digestivo.		
Monitoreo personal		Medición directa. Análisis radiotoxicológico de orina y heces		

21. POLONIO (Po^{210})			
Tipo de emisión Período de decaimiento físico		α 138,4 días	
Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo		40 días (riñón) 31,7 días (riñón)	125 días (pulmón) 65,7 días (pulmón)
Órgano crítico		Riñón y pulmón	
ALI	Ingestión Inhalación	8,3 E+4 Bq 6,7 E+3 Bq	

Tratamiento	*Quelación* Administrar DMPS (Dimaval) por vía oral 3 cápsulas x 100 mg cada 3 a 5 horas (los días subsiguientes continuar con 1 cada 8 a 12 horas). Tratamiento alternativo: BAL vía IM 3 mg/kg cada 4 horas durante los primeros 2 días. El tercer día bajar la dosis a la mitad. No prolongar el tratamiento más de 3 días. Efectuar prueba de sensibilidad al producto previo al inicio del tratamiento. En casos de contaminación por vía digestiva se puede administrar un adsorbente (hidróxido de aluminio, Aludrox® suspensión) 100 ml por vía oral (6 g de hidróxido de aluminio). Administrar por vía oral 10 g de sulfato de magnesio en 100-200 ml de agua para acelerar el pasaje a través del tracto digestivo.
Monitoreo personal	Análisis radiotoxicológico de excretas

22. POTASIO (K^{42})		
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo Órgano crítico		β^- γ 12,4 h Estómago
ALI	Ingestión Inhalación	4,7E+7 Bq 1,0E+8 Bq
Tratamiento	**Dilución isotópica:** 4 g diarios de potasio estable por vía oral como bicarbonato de potasio, no más de 3 días. El potasio es absorbido rápidamente, y casi completamente en intestino y es excretado por vía renal. Administrar un adsorbente (hidróxido de aluminio, Aludrox® suspensión) 100 ml por vía oral (6 g de hidróxido de aluminio). Administrar por vía oral 1 a 2 comprimidos de furosemida (Lasix®) inicialmente, seguido de 1 comprimido a las 6 horas.	
Monitoreo individual	Medición directa. Análisis radiotoxicológico de orina	

23. PRODUCTOS DE FISIÓN (Cs^{137}, Sr^{89}, Sr^{90}, Ce^{144}, Yodo)	
Tratamiento	**Contaminación de piel sana:** 130 mg de ioduro de potasio vía oral. Lavar con solución diluída de DTPA cálcico. **Herida contaminada:** 130 mg de ioduro de potasio por vía oral. Administrar por vía IV lenta 0,5 g de DTPA-Ca (½ ampolla) diluido en 250 ml de solución fisiológica o glucosada. Lavar la herida con solución concentrada de DTPA-Ca. Espolvorear sobre la herida 1 g de Rodizonato de potasio. Administrar 1g de Azul de Prusia, vía oral, 3 veces al día. **Contaminación del aparato respiratorio:** 130 mg de ioduro de potasio por vía oral. Nebulizar con un aerosol de DTPA-Ca (1 ampolla) en un generador convencional o utilizar 1 cápsula de DTPA micronizado en un generador turboinhalador (Spinhaler). Inyectar 0,5 g de DTPA-Ca (½ ampolla) / 250 ml de solución fisiológica o glucosada por vía IV lenta. Administrar por vía oral ferrocianuro férrico (Azul de Prusia) 1 g por vía oral, 3 veces al día. Administrar por vía oral alginato de sodio 10 g/día en una toma única o distribuidos en dos tomas el primer día. Días subsiguientes: 4 g/día. Administrar por vía oral 10g de sulfato de magnesio en 100-200 ml de agua para acelerar el pasaje a través del tracto digestivo. **Contaminación del aparato digestivo:** 130 mg de ioduro de potasio por vía oral. Inyectar 0,5 g de DTPA-Ca (½ ampolla) / 250 ml de solución fisiológica o glucosada por vía IV lenta. Administrar por vía oral ferrocianuro férrico (Azul de Prusia) 1 g, vía oral, 3 veces al día. Administrar por vía oral alginato de sodio 10 g/día en una toma única o distribuidos en dos tomas el primer día. Días subsiguientes: 4 g/día. Administrar por vía oral 10 g de sulfato de magnesio en 100-200 ml de agua para acelerar el pasaje a través del tracto digestivo.
Monitoreo individual	Medición directa. Análisis radiotoxicológico de excretas

24. RADIO (Ra^{226})	
Elemento alcalino térreo emisor α-γ cuyo metabolismo es similar al del calcio, por lo tanto el órgano crítico es el hueso. El tratamiento y monitoreo individual es similar al de la contaminación con estroncio.	
Tratamiento	**Contaminación del aparato digestivo o respiratorio:** Beber un vaso con agua conteniendo 10 g de alginato de sodio o calcio. Se puede administrar 10 g de sulfato de magnesio, para acelerar el pasaje a través del tracto digestivo, determinando una reducción en la absorción del radio. En todos los casos realizar tratamiento sistémico: Dilución Isotópica administrando una solución conteniendo 2-4 ampollas (10%) de gluconato de calcio en 500 ml de solución glucosada al 5% por via intravenosa lenta. Administrar por vía oral cloruro de amonio 2 g cada 8 horas.
Monitoreo personal	Análisis radiotoxicológico de orina y Heces.

25. SELENIO (Se^{75})				
Tipo de emisión Período de decaimiento físico			e^- γ 120 d	
Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo			125 días (pulmón) 61 días (pulmón)	11 días (riñón) 10 días (riñón)
Órgano crítico			Pulmón y riñón	
ALI		Ingestión Inhalación	7,7 E+6 Bq 1,2 E+7 Bq	
Tratamiento		No hay una terapia específica pero una dieta conteniendo 2% de sulfato de sodio incrementa la excreción de selenio tres veces.		
Monitoreo individual		Análisis radiotoxicológico de orina		

26. SODIO (Na^{22} Na^{24})			**Na^{22}**	**Na^{24}**
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo Órgano crítico			$\beta^{(+)}$ γ 2,6 años 11 días 11 días Todo el cuerpo	$\beta^{(-)}$ γ 15 horas 11 días 0,6 días Gastrointestinal
ALI	Na^{22}	Ingestión Inhalación	6,3 E+6 Bq 1,0 E+7 Bq	
	Na^{24}	Ingestión Inhalación	4,7 E+7 Bq 3,8 E+7 Bq	
<u>Tratamiento</u>		**Dilución isotópica,** aporte adicional de cloruro de sodio en la dieta. Facilitar la diuresis mediante la administración oral de furosemida (Lasix®) 1 a 2 comprimidos de 40 mg seguidos de 1 comprimido más a las 6 horas o clortalidona (Hygroton®) 1 comprimido de 100 mg. Alternativa para vía parenteral: furosemida 1 ampolla IV inicial.		
Monitoreo individual		Medición directa. Análisis radiotoxicológico de orina		

27. TECNESIO ($Tc^{99\,m}$)				
Tipo de emisión Período de decaimiento físico		$e^{(-)}$ γ 6 horas		
Período de decaimiento biológico		1, 6 días	3,7 días	22días (*)
Período de decaimiento efectivo Órgano crítico		Tiroides y gastrointestinal		
ALI	Ingestión Inhalación	9,1 E+8 Bq 6,9 E+8 Bq		
Tratamiento	No requiere terapéutica considerando el corto período de decaimiento físico			
Monitoreo individual	Medición directa. Análisis radiotoxicológico de orina			

(*): dependiente del estado de la función tiroidea

28. TRANSPLUTÓNIDOS (Am^{241}, Bk^{249}, Cm^{242}, Cm^{244}, Cf^{252}, Es^{253})		
a) Americio (Am^{241})		
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo Órgano crítico		α γ 457,7 años 100 años 83,9 años Hueso
ALI	Ingestión Inhalación	1,0 E+5 Bq 5,1 E+2 Bq

b) Curio (Cm^{242} Cm^{244})			**Cm^{242}**	**Cm^{244}**
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo			α x 162,5 días 100 años 161,8 días	α 17,6 años 100 años 15 años
Órgano crítico			Hueso	
ALI	Cm^{244}	Ingestión Inhalación	1,7 E+5 Bq 8,0 E+2 Bq	

c) Berkelio (Bk^{249})			
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo Órgano crítico			γ $\beta^{(-)}$ 314 días 100 años 311 días Hueso
ALI	Cm^{244}	Ingestión Inhalación	1,7 E+5 Bq 8,0 E+2 Bq

d) Californio (Cf^{252})		
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo Órgano crítico		α 2,6 años 100 años 2,5 años Hueso
ALI	Ingestión Inhalación	2,2 E+5 Bq 1,1 E+3 Bq

e) Einstenio (Es^{253})		
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo Órgano crítico		α 20,4 días 100 años 20,4 días Hueso
Tratamiento de la contaminación con transplutónidos:	Quelación Administrar por vía IV lenta 0,5 g de DTPA-Ca (½ ampolla) diluido en 250 ml de solución fisiológica o glucosada. De acuerdo a la puerta de entrada completar con: **Herida contaminada:** lavar con solución concentrada de DTPA-Ca (1 ampolla). **Contaminación del aparato respiratorio:** nebulizar con un aerosol de DTPA-Ca (1 ampolla) en un generador convencional o utilizar 1 cápsula de DTPA micronizado en un generador turboinhalador (Spinhaler). **Contaminación digestiva:** Administrar por vía oral 10 g de sulfato de magnesio en 100-200 ml de agua para acelerar el pasaje a través del tracto digestivo.	
Monitoreo individual	Medición directa. Análisis radiotoxicológico de excretas	

29. TRITIO (H^3)		
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo Órgano crítico		$\beta^{(-)}$ 12,3 años 10 días 10 días Cuerpo entero
ALI	Ingestión Inhalación	4,8E+8 Bq 1,1E+9 Bq
Tratamiento	**Hiperhidratación** (4 litros/día), promover la diuresis mediante administración de clortalidona (Hygroton®) 1 comprimido de 100 mg o furosemida (Lasix®) 1 a 2 comprimidos de 40 mg seguidos de 1 comprimido más a las 6 horas.	
Monitoreo individual	Análisis radiotoxicológico de orina	

30. URANIO (U^{235}, U^{238})			**U^{235}**	**U^{238}**
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo			α γ $7{,}1 \times 10^8$ años 15 días 15 días	α x e^- $4{,}49 \times 10^9$ años 15 días 15 días
Órgano crítico			Riñón	
ALI	U^{235}	Ingestión Inhalación	4,3 E+5 Bq 2,6 E+3 Bq	
	U^{238}	Ingestión Inhalación	4,5 E+5 Bq 2,7 E+3 Bq	
Tratamiento		**Cualquiera sea la vía de contaminación:** Administrar por vía IV 250 ml de una solución de bicarbonato de sodio al 1,4% en forma lenta. **Contaminación de piel y heridas:** lavar con solución bicarbonatada al 1,4%.		
Monitoreo individual		Medición directa. Análisis radiotoxicológico de orina		

31. ZINC (Zn^{65})			
Tipo de emisión Período de decaimiento físico		$e^{(-)}$ $\beta^{(+)}$ x γ 245 días	
Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo		933 días (todo el cuerpo) 195 días (todo el cuerpo)	120 días (pulmón) 80,5 días (pulmón)
Órgano crítico		Cuerpo entero y pulmón	
ALI	Ingestión Inhalación	5,1 E+6 Bq 6,9 E+6 Bq	
Tratamiento	**Quelación** Administrar por vía IV lenta DTPA-Zn 1 ampolla en 250 ml de solución fisiológica o glucosada.		
Monitoreo individual	Medición directa		

ANEXO III. Administración de yodo estable en accidentes radiológicos

INTRODUCCIÓN

Las contramedidas aplicables en la fase temprana de un accidente radiológico han sido objeto de numerosos análisis en función de evaluar su utilidad y precisar las indicaciones precisas para su aplicación. Si bien la Comisión Internacional sobre Protección Radiológica (ICRP) recomienda niveles de intervención, dada la emergencia para evitar los efectos determinísticos la Autoridad Regulatoria argentina ha establecido que una serie de contramedidas, y entre ellas el bloqueo de la glándula tiroides, no se efectivice en base a niveles de intervención sino en base a estados de planta y datos meteorológicos. Por tal motivo la distribución de los comprimidos de ioduro de potasio se realizará cuando se tenga la certeza o presunción fundada de inminente emisión masiva de productos de fisión al ambiente.

El accidente ocurrido en 1986 en la Unidad 4 de la central nuclear de Chernobyl con la consecuente emisión de varios miles de PBq de I^{131}, planteó divergencias de opinión respecto a la profilaxis con yodo estable.

Hoy, a la luz del análisis de las consecuencias, a más de 10 años de aquel evento pueden hacerse nuevas consideraciones. Ya existen evidencias epidemiológicas acerca de un incremento en la tasa de incidencia de cáncer tiroideo infantil en la población de Ucrania y Bielorrusia. Se pudo evaluar que se administró yodo estable al 62% de la población de esas regiones y que sólo el 45% lo recibió durante el primer día del accidente. Al propio tiempo los estudios realizados sobre la población de Polonia sólo registraron 3 reacciones adversas severas entre aproximadamente 18 millones de personas que recibieron ioduro de potasio en forma profiláctica.

MECANISMO DE ACCIÓN DEL YODO ESTABLE

La contaminación interna con radioiodos es posible a través de 3 vías: inhalación, ingestión y absorción por piel. Una vez incorporado, el yodo es rápidamente absorbido y pasa a sangre desde donde alcanza en un corto tiempo su órgano blanco: la glándula tiroides y se incorpora a la molécula de triodotironina (T3) y tiroxina (T4). Se considera que el 50% de la dosis máxima en tiroides se alcanza durante las primeras 6 horas post-incorporación.

El yodo estable bloquea en un 98% el ingreso de radioiodos a la glándula tiroides si se lo administra unos minutos antes de la incorporación. Si la administración es simultánea la eficacia desciende al 90% siendo del orden del 50% cuando el yodo se administra entre 4 y 6 horas post-incorporación.

Mediante un mecanismo de dilución isotópica compite con el radioiodo por el ingreso al compartimiento tiroideo. A su vez una sobrecarga de yodo estable puede saturar parcialmente el mecanismo de transporte interno del yodo y causar el llamado fenómeno de Wolff-Chaikoff, disminuyendo finalmente el nivel circulante de hormona tiroidea.

SCREENING DEL STATUS GLANDULAR DE GRUPOS POTENCIALMENTE EXPUESTOS

La eficacia del bloqueo por yodo estable depende de factores intrínsecos de la glándula tiroides relacionados con:

a. Media de aporte de yodo por regiones: el depósito de radioiodos en la tiroides depende de su estado funcional y particularmente en los eutiroideos, del aporte alimentario de yodo estable. Existe una relación inversa entre el aporte diario de yodo en la dieta y la captación tiroidea del mismo. Mientras que el “uptake” es del orden del 20% en las zonas de alto aporte pasa a ser del orden del 60% en regiones de bajo aporte.

Esta diferencia se refleja en una avidez distinta por los radioiodos y en la sensibilidad de la glándula al bloqueo con yodo estable.

El conocimiento previo del aporte medio de yodo por región, la determinación de zonas de bocio endémico y la prevención de la deficiencia de yodo mediante la iodinación de sales u otros alimentos son factores a tener en cuenta.

b. Sensibilidad individual: el bloqueo prolongado de la captación del yodo necesario para la síntesis de la hormona tiroidea puede llevar a la disminución de la actividad metabólica y al eventual aumento compensatorio del tamaño glandular. En términos generales no se observan tales efectos en individuos normales, luego de una administración a dosis adecuadas y por un período no mayor de dos semanas.

Se ha postulado que una sobrecarga de yodo estable puede desencadenar reacciones tioroideas autoinmunes en individuos predispuestos o agravar el curso de tiroiditis preexistentes.

Se sabe que existe hipersensibilidad al yodo particularmente por administarción endovenosa de medios de contraste iodados con fines diagnósticos. Las reacciones no son tan frecuentes ni tan severas luego de la administración oral. Se estima que el riesgo de efectos adversos debidos a la administración de yodo estable es de 5×10^{-7}.

Estas son las situaciones individuales en las que la administración de yodo estable podría estar contraindicada:

a. **Hipersensibilidad conocida al yodo.**
b. **Enfermedad tiroidea activa actual o previa en tratamiento: tioroiditis de Hashimoto, enfermedad de Basedow, otras tiroideopatías autoinmunes.**
c. **Vasculitis hipocomplementémica.**
d. **Dermatitis herpetiforme.**

ASPECTOS POBLACIONALES

Se definen dos grupos poblacionales desde el punto de vista de la proximidad a la fuente de emisión y en base a dosis potenciales involucradas: un grupo cercano (“near field”) y un grupo alejado (“far field”).

En el **grupo cercano** la exposición es inmediata a la emisión, con una gran contribución de los isótopos de vida media corta y con predominio de la vía inhalatoria. Las dosis potenciales pueden ser bastante altas. Se requiere una acción rápida y no se debe demorar la toma de decisiones respecto de la administración de yodo estable.

En el **grupo alejado** la exposición es tardía y más prolongada, principalmente debida a isótopos de vida media más larga incorporados a través de la ingesta de alimentos. Se trata de dosis potenciales más bajas que pueden ser adecuadamente controladas mediante restricciones y control de alimentos.

CASOS PARTICULARES

Se deberán considerar los siguientes casos:

a. Mujeres embarazadas: durante el primer trimestre se deberá proteger la tiroides materna, a partir del segundo trimestre se considerará prioritaria la protección de la tiroides fetal. Se recomienda la yodoprofilaxis de todas las embarazadas en el grupo cercano. En la población alejada estaría indicada a partir del segundo trimestre de gestación.

b. Mujeres en período de amamantamiento: proteger como a otro miembro del público limitando el tiempo de tratamiento. La protección de la madre no excluye la profilaxis en el lactante.

c. Recién nacidos: proteger siempre mediante administración de yodo estable con dosis adecuadas. Puede sobrevenir hipotiroidismo transitorio por lo que se recomienda el monitoreo de la función tiroidea durante varias semanas posteriores.

d. Niños y adolescentes: constituyen un grupo de alto riesgo de inducción de cáncer tiroideo y bajo riesgo asociado al uso de yodo estable. La yodoprofilaxis está recomendada tanto en el grupo cercano como en la población alejada.

e. Adultos: el riesgo de cáncer tiroideo radioinducido disminuye con la edad. La frecuencia de patología tiroidea aumenta con la edad, particularmente en el sexo femenino. Se recomienda yodoprofilaxis en el grupo cercano y considerar el control de alimentos como medida protectiva en el grupo alejado.

ASPECTOS FARMACOLÓGICOS

a. Forma farmacéutica: cualquiera sea la presentación o forma química utilizada, lo que cuenta para la dosificación es la cantidad ponderada de yodo activo.

Las tabletas pueden ser de ioduro o iodato (de sodio o más comúnmente de potasio) con una relación masa total del compuesto / masa de yodo activo de 1,3 para el ioduro y 1,7 para el iodato).

Puede administrarse el yodo en forma de soluciones tales como solución de lugol, tintura de yodo o alcohol iodado.

Varios factores deben considerarse en la decisión acerca de la forma a utilizar:

- Facilidad de almacenamiento.
- Rapidez de la distribución.
- Flexibilidad de la dosificación.
- Estabilidad del producto.

La tableta de ioduro de potasio es la forma más ampliamente usada. No se recomiendan las soluciones por la falta de precisión en las dosis y por las dificultades que presentan para su almacenamiento y distribución.

El esquema de administración puede facilitarse con la fabricación de tabletas de 50 mg de yodo activo, doblemente ranuradas. La dosis óptima para un adulto es de 100 mg de yodo activo en una sola toma diaria, la que podría administrarse con dos tabletas de este tipo. En el caso de los niños se administrarían fracciones de un medio o un cuarto de tableta disuelta en un líquido (en cuyo caso la solución debe ser administrada inmediatamente después de su preparación).

b. Almacenamiento y renovación de stock: las tabletas de ioduro de potasio deben ser conservadas al abrigo de la luz y de la humedad, con rótulos donde conste la fecha de producción y la masa de yodo activo que contienen.

Sería recomendable contar con ensayos periódicos de biodisponibilidad que permitan precisar el tiempo de máxima efectividad de las mismas y establecer en consecuencia un programa de control y renovación del stock.

c. Esquema de dosificación diferenciada por edad: hay consenso internacional acerca de la conveniencia de adecuar las dosis al grupo etario a fin de minimizar los riesgos de efectos adversos. La OMS propone el siguiente esquema:

GRUPO ETARIO	MASA DE YODO ACTIVO (dosis diaria)
Menos de 1 mes	12,5 mg (*)
1 mes a 3 años	25 mg
3 a 12 años	50 mg
Adolescentes y adultos	100 mg

(*) en la emergencia se le podrían administrar 25 mg como dosis única con seguimiento posterior de la función tiroidea del recién nacido.

d. Duración del tratamiento: en el caso del pasaje aislado de una nube radiactiva bastaría una dosis única. Si se trata de obtener una protección frente a una exposición prolongada se mantendrá la profilaxis con una sola toma diaria durante varios días, manteniendo el esquema de dosis propuesto. La duración del tratamiento dependerá de factores tales como: características del accidente, tiempo de la emisión, condiciones meteorológicas y aplicación de otras contramedidas. La decisión será tomada de acuerdo a las sugerencias de la Autoridad Regulatoria.

No se recomienda prolongar el tratamiento más allá de un día en los recién nacidos y dos días en las mujeres gestantes. De acuerdo al caso particular se evaluará la necesidad de otras contramedidas en estos grupos

LOGÍSTICA DE ADMINISTRACIÓN

Es conveniente que exista un stock centralizado permanente de tabletas a nivel de los centros primarios (instalaciones relevantes, autoridad regulatoria, autoridades sanitarias) a fin de asegurar el control, recambio y aprovisionamiento fuera de los períodos de crisis.

En la emergencia, los lotes necesarios arribarían al puesto de comando operacional o a los centros de distribución preestablecidos.

Hay países que proponen la existencia de una dotación mínima pre-distribuida en el grupo crítico con el objeto de acelerar su administración. Esto implica riesgo de extravío, ingesta inadecuada, almacenamiento inapropiado y dificultades de control.

Son posibles centros de distribución: hospitales regionales, municipios, escuelas, organismos de defensa civil, oficinas de correos. Entre los agentes afectados a esta tarea se considerarán: policía, bomberos, médicos, enfermeras, docentes, etc., los que deberían recibir un mínimo entrenamiento previo (participación en ejercicios, charlas, etc.).

SEGUIMIENTO DE GRUPOS DE RIESGO

Sería conveniente contar con un screening tiroideo previo de la población del grupo cercano. Una vez ocurrido un accidente se determinarán prioridades para el control posterior a fin de evaluar las consecuencias de la yodoprofilaxis así como de las eventuales dosis recibidas.

En este sentido se considerarán:

1. Niños que recibieron yodo estable in útero o durante el primer mes de vida
2. Mujeres gestantes
3. Niños menores de 3 años
4. Niños mayores de 3 años

Se realizará una evaluación periódica clínica, ecográfica, y hormonal (TSH y T4), durante un período no inferior a dos semanas. Los estudios radioepidemiológicos prospectivos son estudios a largo plazo (varias decenas de años).

DIVULGACIÓN DE INSTRUCTIVOS E INFORMACIÓN

Es conveniente diseñar instructivos dirigidos al personal afectado a la distribución y administración del yodo. Serán breves, claros y precisos en cuanto a la normativa que se deberá seguir, contemplando todas las situaciones posibles a fin de maximizar la eficacia y rapidez de esta contramedida.

BIBLIOGRAFÍA

1. Safety series N° 47
Manual on Early Medical Treatment of Possible Radiation Injury. IAEA Viena 1978.

2. Radiation Protection Dosimetry. Vol 41 N° 1, 1992
Guidebook for The Treatment of Accidental Internal Radionuclide Contamination of Workers.

3. Accidents Radiologiques: Conduite a Tenir en Cas de Surexposition.
Institut Curie - Centre International de Collaboration en Radiopathologie

4. IAEA – Tecdoc – 86
Assessment and Treatment of External and Internal Radionuclide Contamination. IAEA-1996 April.

5. Le Li-Hopo, Au Premier Rang de Decorporant S. Marano Pag. 20-21
Les Defis Du Cea. Juin 1996.

6. International Commission on Radiation Protection
Principles for intervention for protection of the public in Radiological Emergencies Annals of the ICRP 22 (4) (1991)

7. M. Schlumberger
Cancers de la thyroïde après Tchernobyl Radioprotection 29(3) 397-404 (1994)

8. Proceedings of Who/Cec Workshop
Iodine prophylaxis following nulcear accidents Pergamon Press (1988)

9. World Health Organization
Guidelines for iodine prophylaxis following nuclear accidents FADL publishers (1989)

10. International Commission on Radiation Protection
Dose coefficients for intakes of radionuclides by workers.
Publication 68. (1994).