

Calidad del agua
Actividad alfa total
Método de ensayo utilizando una fuente concentrada
(ISO 9696:2017)

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico CTN 73 *Energía nuclear, tecnologías nucleares y protección radiológica*, cuya secretaría desempeña UNE.

UNE-EN ISO 9696

Calidad del agua
Actividad alfa total
Método de ensayo utilizando una fuente concentrada
(ISO 9696:2017)

Water quality. Gross alpha activity. Test method using thick source (ISO 9696:2017).

Qualité de l'eau. Activité alpha globale. Méthode d'essai par source épaisse (ISO 9696:2017).

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN ISO 9696:2017, que a su vez adopta la Norma Internacional ISO 9696:2017.

Las observaciones a este documento han de dirigirse a:

Asociación Española de Normalización

Génova, 6
28004 MADRID-España
Tel.: 915 294 900
info@une.org
www.une.org
Depósito legal: M 41141:2018

© UNE 2018

Publicado por AENOR INTERNACIONAL S.A.U. bajo licencia de la Asociación Española de Normalización.
Reproducción prohibida

ICS 13.060.60

Versión en español

**Calidad del agua
Actividad alfa total
Método de ensayo utilizando una fuente concentrada
(ISO 9696:2017)**

**Water quality. Gross alpha activity.
Test method using thick source
(ISO 9696:2017).**

**Qualité de l'eau. Activité alpha globale.
Méthode d'essai par source épaisse
(ISO 9696:2017).**

**Wasserbeschaffenheit. Gesamt-Alpha-
Aktivität. Dickschichtverfahren
(ISO 9696:2017)**

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2017-09-19.

Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional. Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales pueden obtenerse en el Centro de Gestión de CEN/CENELEC, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada al Centro de Gestión de CEN/CENELEC, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Antigua República Yugoslava de Macedonia, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Serbia, Suecia, Suiza y Turquía.



**COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation
Europäisches Komitee für Normung
CENTRO DE GESTIÓN: Rue de la Science, 23, B-1040 Brussels, Belgium**

© 2017 CEN. Derechos de reproducción reservados a los Miembros de CEN.

Índice

Prólogo europeo	5
Declaración.....	5
Prólogo.....	6
0 Introducción.....	7
1 Objeto y campo de aplicación.....	9
2 Normas para consulta.....	9
3 Términos y definiciones.....	10
4 Símbolos.....	10
5 Principio del método.....	11
6 Reactivos y equipo	11
6.1 Reactivos.....	11
6.2 Equipo.....	12
7 Procedimiento operativo.....	13
7.1 Toma de muestras.....	13
7.2 Pretratamiento.....	13
7.3 Etapa de concentración	14
7.4 Etapa de sulfatación	14
7.5 Etapa de calcinado	14
7.6 Preparación de la fuente.....	14
7.7 Medición	15
7.8 Determinación del fondo.....	15
7.9 Preparación de las fuentes de calibración	15
7.10 Sensibilidad y sesgo.....	16
7.11 Optimización de la determinación	17
8 Comprobación de la contaminación	17
8.1 Generalidades.....	17
8.2 Pérdidas de isótopos de radón	17
8.3 Pérdidas de polonio.....	17
9 Expresión de los resultados.....	18
9.1 Cálculo de la concentración de la actividad	18
9.2 Incertidumbre normalizada	18
9.3 Umbral de decisión.....	19
9.4 Límite de detección.....	19
9.5 Límites del intervalo de confianza	20
10 Informe del ensayo	20
Anexo A (Informativo) Criterios de comportamiento.....	22
Bibliografía	23

Prólogo europeo

El texto de la Norma EN ISO 9696:2017 ha sido elaborado por el Comité Técnico ISO/TC 147 *Calidad del agua* en colaboración con el Comité Técnico CEN/TC 230 *Análisis del agua*, cuya Secretaría desempeña DIN.

Esta norma europea debe recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a ella o mediante ratificación antes de finales de mayo de 2018, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deben anularse antes de finales de mayo de 2018.

Se llama la atención sobre la posibilidad de que algunos de los elementos de este documento estén sujetos a derechos de patente. CEN no es responsable de la identificación de dichos derechos de patente.

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, están obligados a adoptar esta norma europea los organismos de normalización de los siguientes países: Alemania, Antigua República Yugoslava de Macedonia, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Serbia, Suecia, Suiza y Turquía.

Declaración

El texto de la Norma ISO 9696:2017 ha sido aprobado por CEN como Norma EN ISO 9696:2017 sin ninguna modificación.

Prólogo

ISO (Organización Internacional de Normalización) es una federación mundial de organismos nacionales de normalización (organismos miembros de ISO). El trabajo de elaboración de las Normas Internacionales se lleva a cabo normalmente a través de los comités técnicos de ISO. Cada organismo miembro interesado en una materia para la cual se haya establecido un comité técnico, tiene el derecho de estar representado en dicho comité. Las organizaciones internacionales, gubernamentales y no gubernamentales, vinculadas con ISO, también participan en el trabajo. ISO colabora estrechamente con la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) en todos los temas de normalización electrotécnica.

En la Parte 1 de las Directivas ISO/IEC se describen los procedimientos utilizados para desarrollar este documento y aquellos previstos para su mantenimiento posterior. En particular debería tomarse nota de los diferentes criterios de aprobación necesarios para los distintos tipos de documentos ISO. Este documento ha sido redactado de acuerdo con las reglas editoriales de la Parte 2 de las Directivas ISO/IEC (véase www.iso.org/directives).

Se llama la atención sobre la posibilidad de que algunos de los elementos de este documento puedan estar sujetos a derechos de patente. ISO no asume la responsabilidad por la identificación de alguno o todos los derechos de patente. Los detalles sobre cualquier derecho de patente identificado durante el desarrollo de este documento se indicarán en la Introducción y/o en la lista ISO de declaraciones de patente recibidas (véase www.iso.org/patents).

Cualquier nombre comercial utilizado en este documento es información que se proporciona para comodidad del usuario y no constituye una recomendación.

Para una explicación de la naturaleza voluntaria de las normas, el significado de los términos específicos de ISO y las expresiones relacionadas con la evaluación de la conformidad, así como la información acerca de la adhesión de ISO a los principios de la Organización Mundial del Comercio (OMC) respecto a los Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC), véase www.iso.org/iso/foreword.html.

Este documento ha sido elaborado por el Comité Técnico ISO/TC 147 *Calidad del agua*, Subcomité SC 3, *Mediciones de radiactividad*.

Esta tercera edición anula y sustituye a la segunda edición (ISO 9696:2007) que ha sido revisada técnicamente.

0 Introducción

La radiactividad procedente de varias fuentes de origen natural y antropogénico está presente a través de todo el medio ambiente. Por ello, las masas de agua (por ejemplo, aguas superficiales, aguas subterráneas, agua de mar) pueden contener radionúclidos de origen natural, creados por el ser humano o de ambos orígenes:

- los radionúclidos naturales, incluyendo ^{40}K , ^3H , ^{14}C , y aquellos procedentes de la serie de desintegración del torio y el uranio, en particular ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{234}U , ^{238}U , ^{210}Po y ^{210}Pb , pueden encontrarse en el agua por razones naturales (por ejemplo, desorción a partir del suelo y escorrentía con agua de lluvia) o pueden liberarse a partir de procesos tecnológicos que impliquen que se produzcan materiales radioactivos de forma natural (por ejemplo, la minería y el procesamiento de arenas minerales o la producción y utilización de fertilizantes de fosfato);
- los radionúclidos antropogénicos, como los elementos transuránicos (por ejemplo, americio, plutonio, neptunio y curio), ^3H , ^{14}C , ^{90}Sr , y algunos radionúclidos que emiten radiaciones gamma, pueden encontrarse también en las aguas naturales. Pequeñas cantidades de esos radionúclidos pueden descargarse al medio ambiente a partir de instalaciones del ciclo del combustible nuclear como resultado de emisiones rutinarias autorizadas. Algunos de estos radionúclidos utilizados para las aplicaciones médicas e industriales también pueden ser liberados al ambiente después de su uso. Los radionúclidos antropogénicos también pueden encontrarse en el agua como el resultado de anteriores secuelas de la contaminación resultante de la explosión en la atmósfera de dispositivos nucleares y de accidentes como aquellos que se produjeron en Chernóbil y en Fukushima.

La concentración de la actividad de los radionúclidos en las masas de agua puede variar de acuerdo con las características geológicas locales y con las condiciones climáticas y pueden intensificarse de forma local y temporal por emisiones a partir de la instalación nuclear durante situaciones de exposición planificadas, existentes y de emergencia ^[1]. Por consiguiente, el agua potable puede contener radionúclidos en concentraciones de actividad que podrían representar un riesgo para la salud humana.

Los radionúclidos presentes en los efluentes líquidos normalmente se controlan antes de ser descargados al ambiente ^[2] y a las masas de agua. El agua potable puede monitorizarse en relación a su contenido en radioactividad como se recomienda por la Organización Mundial de la Salud (OMS) ^[3]. Este control y monitorización puede facilitar tomar las acciones apropiadas para asegurar que no existen efectos adversos contra la salud para el público. Siguiendo estas recomendaciones internacionales, los límites de concentración de los radionúclidos autorizados para la descarga de efluentes líquidos al medio ambiente y los niveles de orientación de los radionúclidos para las masas de agua y el agua potable normalmente se especifican mediante la legislación nacional para situaciones de exposición planificadas, existentes y de emergencia. El cumplimiento con estos límites puede evaluarse utilizando los resultados medidos con sus incertidumbres asociadas como se requiere en la Guía ISO/IEC 98-3 y en la Norma ISO 5667-20.

Dependiendo de la situación de exposición, los límites y los niveles de orientación que provocarían una acción para reducir el riesgo para la salud difieren. Como un ejemplo, durante una situación planificada o existente, las directrices de la OMS para los niveles de discriminación en el agua potable es 0,5 Bq l⁻¹ para la actividad alfa total y 1 Bq l⁻¹ para la actividad beta total.

NOTA El nivel de orientación es la concentración de la actividad con una ingesta de 2 l día⁻¹ de agua potable durante 1 año que resulta en una dosis eficaz inferior a 0,1 mSv·a⁻¹ para las personas, una dosis eficaz que representa un nivel de riesgo muy bajo que no se espera que ocasione ningún efecto adverso detectable para la salud ^[3].

Por lo tanto, es posible que sea necesario ajustar el método de ensayo dependiendo de si se aplica a una situación planificada o existente, o de emergencia, ya que, durante las situaciones de emergencia, es necesario caracterizar rápidamente un gran número de muestras. Los métodos de ensayo podrían adaptarse para que su comportamiento en términos de límites característicos, umbral de decisión y límite de detección, y las incertidumbres aseguren que los resultados del ensayo de la concentración de la actividad total permitan la verificación de que están por debajo de los niveles de orientación requeridos por la autoridad nacional tanto para situaciones planificadas o existentes como para una situación de emergencia ^[5] ^[6] ^[7].

Normalmente, los métodos de ensayo pueden ajustarse para medir la concentración de la actividad total de los radionúclidos tanto en aguas residuales antes del almacenamiento como en efluentes líquidos antes de su descarga al medio ambiente. Los resultados del ensayo permitirán al operador de la planta/instalación cumplir con la legislación nacional al verificar que antes de su descarga, las concentraciones de la actividad radiactiva de las aguas residuales/efluentes líquidos son inferiores a los límites autorizados.

El(los) método(s) de ensayo descrito(s) en este documento puede(n) utilizarse durante situaciones de exposición planificadas, existentes y de emergencia, así como para aguas residuales y efluentes líquidos con modificaciones específicas que podrían aumentar la incertidumbre global, el límite de detección y el umbral.

El(los) método(s) de ensayo pueden utilizarse para muestras de agua después de la toma de muestras, manejo de la muestra y preparación de la muestra de ensayo apropiada (véase la parte ad hoc de la Norma ISO 5667).

Se justifica una norma internacional sobre un método de ensayo de las concentraciones de la actividad alfa y beta total en muestras de agua para los laboratorios de ensayo que realizan estas mediciones y puede requerirse por las autoridades nacionales, ya que los laboratorios pueden tener que obtener una acreditación específica para la medición de radionúclidos de las muestras de agua potable.

Este documento forma parte de un conjunto de normas internacionales sobre métodos de ensayo que se ocupan de la medición de la concentración de la actividad de los radionúclidos en las muestras de agua.

ADVERTENCIA – Las personas que utilicen este documento deberían estar familiarizadas con las prácticas normales de laboratorio. Este documento no pretende abordar todos los problemas de seguridad, si los hay, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario establecer prácticas de seguridad y salud apropiadas y asegurar el cumplimiento con cualquier condición legislativa nacional.

IMPORTANTE – Es absolutamente esencial que los ensayos realizados de acuerdo con este documento se lleven a cabo por personal adecuadamente entrenado.

1 Objeto y campo de aplicación

Este documento especifica un método para la determinación de la actividad alfa total en aguas no salinas para radionúclidos que emitan radiación alfa que no sean volátiles hasta 350 °C.

El método es aplicable al análisis de agua bruta y potable.

El intervalo de aplicación depende de la cantidad de sales solubles totales en el agua y de las características de comportamiento (tasa de conteo del fondo y eficiencia del conteo) del contador.

Es responsabilidad del laboratorio asegurarse de la adecuación de este método para las muestras de agua ensayadas.

2 Normas para consulta

Los documentos indicados a continuación, en su totalidad o en parte, son normas para consulta indispensables para la aplicación de este documento. Para las referencias con fecha, solo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición (incluida cualquier modificación de esta).

ISO 3696:1987, *Agua para uso en análisis de laboratorio. Especificación y métodos de ensayo.*

ISO 5667-1, *Calidad del agua. Muestreo. Parte 1: Guía para el diseño de los programas de muestreo y técnicas de muestreo.*

ISO 5667-3, *Calidad del agua. Muestreo. Parte 3: Conservación y manipulación de las muestras de agua.*

ISO 5667-14, *Calidad del agua. Muestreo. Parte 14: Guía para el aseguramiento de la calidad y el control de la calidad en el muestreo y manipulación de muestras ambientales de agua.*

ISO 11929, *Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the confidence interval) for measurements of ionizing radiation. Fundamentals and application.*

ISO 80000-10, *Magnitudes y unidades. Parte 10: Física atómica y nuclear.*

ISO/IEC 17025, *Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.*

ISO/IEC Guía 98-3, *Incertidumbre de medida. Parte 3: Guía para la expresión de la incertidumbre de medida (GUM:1995).*

ISO/IEC Guía 99, *Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales y términos asociados (VIM)*.

3 Términos y definiciones

Para los fines de este documento, se aplican los términos y definiciones incluidos en las Normas ISO 11929, ISO 80000-10, y en la Guía ISO/IEC 98-3 y Guía ISO/IEC 99.

ISO e IEC mantienen bases de datos terminológicas para su utilización en normalización en las siguientes direcciones:

- Plataforma de búsqueda en línea de ISO: disponible en <http://www.iso.org/obp>
- Electropedia de IEC: disponible en <http://www.electropedia.org/>

4 Símbolos

V_t	volumen de la muestra de agua, en litros
V	volumen de la muestra de ensayo, en litros, equivalente a la masa de sólido sobre la plancheta
m	masa, en miligramos, del residuo calcinado a partir del volumen, V
m_r	masa del residuo de muestra depositado sobre la plancheta, en miligramos
A	actividad alfa de la fuente de calibración, en becquerel
c_A	concentración de la actividad alfa, en becquerels por litro
t_0	tiempo de conteo del fondo, en segundos
t_g	tiempo de conteo de la muestra, en segundos
r_0	tasa de conteo del fondo, por segundo
t_s	tiempo de conteo de la calibración de la fuente alfa, en segundos
r_g	tasa de conteo total de la muestra, por segundo
r_s	tasa de conteo de la calibración, por segundo
ε	eficiencia de conteo de la fuente de calibración especificada
S	área de la plancheta, en milímetros cuadrados
ρ_s	espesor de la fuente, en mililitros por milímetro cuadrado, del residuo de la muestra depositado sobre la plancheta
$u(c_A)$	incertidumbre normalizada asociada con el resultado de medición, en becquerels por litro
U	incertidumbre expandida calculada a partir de $U = k \cdot u(a)$, con $k = 1, 2, \dots$, en becquerels por litro
c_A^*	umbral de decisión, en becquerels por litro
$c_A^\#$	límite de detección, en becquerels por litro
$c_A^{\triangleleft}, c_A^{\triangleright}$	límites superior e inferior del intervalo de confianza, en becquerels por litro

5 Principio del método

La actividad alfa total se determina mediante la utilización de un contador proporcional al flujo de gas o un contador de centelleo sólido [por ejemplo, detector ZnS(Ag)] sobre un residuo acuoso depositado sobre una plancheta. El método requiere un espesor uniforme y una capa homogénea del residuo depositado sobre la plancheta ya que la muestra colocada en el detector podría influir seriamente en la eficiencia de conteo debido a la auto-absorción de las partículas alfa dentro del material del residuo.

La actividad alfa debe recontarse utilizando una pantalla de centelleo de sulfuro de cinc activada con plata, un detector de partículas cargadas de silicio [silicio implantado por iones o detector de barrera superficial (SSB)] o un contador proporcional al flujo de gas (con o sin una ventana de $<100 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$).

La medición alfa total no pretende dar una determinación absoluta de la actividad alfa total en la muestra, sino más bien un análisis de discriminación para garantizar que no se hayan excedido los niveles de acción particulares de los emisores alfa específicos. Este tipo de determinación también se conoce como índice alfa total. No se espera que el análisis alfa total sea tan exacto ni tan preciso como el análisis específico de los radionúclidos después de las separaciones radioquímicas.

La muestra se acidifica para su estabilización, se evapora hasta casi sequedad, se convierte a la forma de sulfato y se calcina a $350 \text{ }^\circ\text{C}$. Después de transferir una porción del residuo a una plancheta, se mide la actividad alfa en un detector de partículas alfa o en un sistema de conteo previamente calibrado frente a patrones emisores alfa específicos y se calcula la concentración de la actividad alfa. Conviene destacar que este método puede no permitir la determinación de algunas especies volátiles, como ^{222}Rn gaseoso y haluros de polonio. Tampoco pueden detectarse los radionúclidos de vida corta (por ejemplo, ^{224}Ra) debido al período de tiempo entre la toma de muestras y el análisis.

6 Reactivos y equipo

6.1 Reactivos

Excepto para la disolución de referencia certificada, todos los reactivos deben ser de reconocido grado analítico y no deben contener ninguna actividad alfa medible.

En el capítulo 8 se proporciona un método para la preparación de reactivos en blanco para comprobar la radioactividad o contaminación endémica.

6.1.1 Agua, que cumpla con el grado 3 de la Norma ISO 3696:1987.

6.1.2 Disolución de referencia certificada

Un laboratorio de calibración establece la trazabilidad de sus propios patrones de medición e instrumentos de medición con respecto al Sistema Internacional de Unidades (SI) por medio de una cadena ininterrumpida de calibraciones o comparaciones que los vincula con los patrones primarios correspondientes de las unidades de medición del SI. La vinculación a las unidades del SI puede lograrse haciendo referencia a los patrones nacionales de medición. Los patrones nacionales de medición pueden ser patrones primarios, que son realizaciones primarias de las unidades del SI o representaciones acordadas de las unidades del SI basadas en constantes físicas fundamentales, o pueden ser patrones secundarios que son patrones calibrados por otro instituto nacional de metrología. Cuando se utilicen servicios de calibración externos, la trazabilidad de la medición debe garantizarse mediante la utilización de servicios de calibración de laboratorio que puedan demostrar competencia, capacidad de medición y trazabilidad. Los certificados de calibración emitidos por estos laboratorios deben contener los resultados de la medición, incluyendo la incertidumbre de medición y/o una declaración de conformidad con una especificación metrológica identificada.

La elección del patrón alfa depende del conocimiento del tipo de contaminante radiactivo que probablemente esté presente en las aguas sometidas a ensayo. En general, esto equivale a una elección entre los emisores alfa naturales y los artificiales.

Entre las disoluciones normalizadas de radionúclidos artificiales emisores alfa, se utilizan comúnmente ^{241}Am y ^{239}Pu . Debe tenerse en cuenta la presencia de otras impurezas en el patrón alfa elegido, que puede emitir partículas alfa o desintegrarse a una progenie emisora alfa. Cuando se utiliza ^{241}Am , deben tenerse en cuenta las posibles interferencias de su emisión gamma o interferencia alfa-beta (véase la referencia [8]).

NOTA 1 Un compuesto de uranio de composición isotópica natural o conocida certificada tiene una ventaja defendible, ya que su actividad específica puede calcularse a partir de constantes físicas establecidas y de datos de abundancia isotópica que son independientes de los procedimientos de calibración de una organización en particular.

NOTA 2 Además, dado que las energías de las emisiones alfa de los isótopos de uranio son menores que las de los nucleótidos transuránicos artificiales, la utilización de un patrón de uranio tiende a dar un alto resultado para los transuránicos. Cuando se desconoce la verdadera composición, algunas autoridades prefieren sobreestimar los resultados como un enfoque conservador.

6.1.3 Ácido nítrico, $c(\text{HNO}_3) = 8 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$.

6.1.4 Ácido sulfúrico, $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 18 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$, $\rho = 1,84 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$, fracción másica $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 95\%$.

6.1.5 Disolventes orgánicos volátiles

Metanol o acetona.

6.1.6 Acetato de polivinilo, (PVA)

6.1.7 Sulfato de calcio, CaSO_4

Ya que las sales de calcio pueden contener cantidades de trazas de ^{226}Ra y/o ^{210}Pb , debe realizarse la comprobación de la presencia de estos radionúclidos.

6.2 Equipo

6.2.1 Equipo de laboratorio habitual

6.2.2 Contador alfa

El conteo de la actividad alfa debe realizarse utilizando una pantalla de centelleo de sulfuro de cinc activada con plata, un detector de partículas cargadas de silicio [silicio implantado por iones o detector de barrera superficial (SSB)] o un contador proporcional al flujo de gas (con o sin una ventana de $<100 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$).

Si se utiliza un contador proporcional al flujo de gas, es aconsejable elegir la ventana alfa de forma que la interferencia beta-alfa sea mínima.

Si se utiliza un contador proporcional al flujo de gas sin ventana, se deben realizar comprobaciones regulares en busca de cualquier posible contaminación del sistema de conteo mediante el recuento de muestras en blanco.

NOTA La naturaleza particular de la fuente a recontar puede ocasionar problemas de contaminación si se opera en un sistema de vacío (como en el caso de un SSB) o en sistemas con flujo de gas (como se utiliza en un contador proporcional).

6.2.3 Planchetas, de densidad superficial de, al menos, $2,5 \text{ mg/mm}^2$ (250 mg/cm^2), para evitar cualquier deformación de la plancheta durante la etapa de secado, que tenga un reborde y esté fabricada de acero inoxidable.

NOTA El diámetro de la plancheta a utilizar se determina mediante los requisitos del contador, es decir, el diámetro del detector y las dimensiones del soporte de la fuente.

Se requiere una fuente dispersa uniformemente y algunos trabajadores encuentran más fácil producir esto en una superficie metálica pulida, mientras que otros prefieren utilizar una plancheta grabada o rugosa (el chorreado con arena y el ataque químico se han aplicado para este fin).

6.2.4 Horno mufla, capaz de mantener una temperatura de $(350 \pm 10) \text{ }^\circ\text{C}$.

6.2.5 Crisol, de silicio o de porcelana vitrificada, con un volumen de 30 ml a 50 ml.

7 Procedimiento operativo

AVISO - La utilización de este documento puede conllevar materiales, operaciones y equipos peligrosos. Este documento no pretende abordar todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario establecer prácticas de seguridad y salud apropiadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones legislativas antes de su uso. Todas las etapas de este capítulo, excepto 7.1, deberían realizarse en una cabina de seguridad.

7.1 Toma de muestras

La toma de muestras, manipulación y almacenamiento de las muestras de agua debe realizarse como se especifica en las Normas ISO 5667-1, ISO 5667-3 e ISO 5667-14.

Si se requiere la medición de la actividad en la muestra de agua filtrada, se realiza la filtración inmediatamente tras la recogida y antes de la acidificación.

NOTA La acidificación de la muestra de agua minimiza la pérdida de radioactividad procedente de la disolución mediante adsorción. Si se realiza antes de la filtración, esto desorbe el material radioactivo ya adsorbido sobre el material en partículas.

7.2 Pretratamiento

La determinación del contenido total de sólidos del agua puede realizarse para determinar el volumen más pequeño de agua necesario para la medición. Teniendo en cuenta los márgenes para los cambios en la composición debidos a la calcinación a $350 \text{ }^\circ\text{C}$ y a la sulfatación del residuo, se calcula el volumen de la muestra requerido para producir una masa de residuo sólido ligeramente en exceso de ρ_s (mg/mm^2) dado por la fórmula (1):

$$\rho_s = \frac{m_r}{S} \geq 0,1 \quad (1)$$

Esto se utiliza como una guía para determinar el volumen de muestra requerido para la etapa de concentración.

El análisis debería realizarse en un área sin riesgo de contaminación radiactiva.

7.3 Etapa de concentración

Se transfiere a un vaso de precipitados un volumen medido, V , en litros, ($\pm 1\%$) de la muestra elegida de forma que después del calcinado, el valor para ρ_s exceda de $0,1 \text{ mg/mm}^2$.

Con muestras de aguas muy blandas, es posible que el volumen requerido para producir $\rho_s > 0,1 \text{ mg/mm}^2$ sea impracticablemente grande. En estas circunstancias, debería utilizarse el volumen mayor practicable o deberían añadirse sales de calcio.

Se evapora la muestra cuidadosamente sobre un hornillo hasta que el volumen se reduzca a unos 50 ml.

Después del enfriamiento, se transfiere la disolución concentrada a un disco de pesada de sílice (o de porcelana vitrificada) (6.2.5), que haya sido previamente calcinado a $350 \text{ }^\circ\text{C}$. Se enjuaga el vaso de precipitados cuidadosamente con una cantidad mínima de agua destilada y se transfieren los enjuagues al disco (6.2.5).

Si el vaso de precipitados es grande, podría ser más conveniente transferir los enjuagues a un vaso de precipitados más pequeño. Los enjuagues pueden evaporarse a continuación hasta un volumen menor para facilitar la transferencia de la muestra al disco de sílice.

7.4 Etapa de sulfatación

Se asegura que los enjuagues en el disco (6.2.5) están fríos y se añade 1 ml de ácido sulfúrico concentrado (6.1.4).

Después del secado y del calcinado, algún residuo acuoso puede ser higroscópico o difícil de dispersar, por lo que no es adecuado para la medición de la actividad alfa. El proceso de sulfatación es un tratamiento adecuado para muchas de estas muestras. El volumen de ácido sulfúrico (6.1.4) elegido (1 ml) es suficiente para sulfatar unos 1,8 g de carbonato cálcico. Para tener en cuenta un exceso de ácido, debería elegirse el volumen inicial de la muestra de forma que el contenido en sólidos totales no exceda de 1 g (la experiencia con algunas aguas puede mostrar que esta etapa es innecesaria).

Con cuidado se evapora la muestra del disco hasta sequedad.

Para evitar salpicaduras, se calienta el disco directamente bajo una lámpara infrarroja hasta que se produzcan humos de ácido sulfúrico. A continuación, se calienta el disco en un hornillo hasta que no se desprendan más humos ácidos.

7.5 Etapa de calcinado

Se transfiere el disco y su contenido al horno de mufla (6.2.4), se calcina durante 1 h a una temperatura de $(350 \pm 10) \text{ }^\circ\text{C}$ y se deja enfriar en un desecador.

Se pesan el disco y el residuo. Se calcula la masa del residuo calcinado, m , en miligramos, por diferencia de las pesadas medidas.

7.6 Preparación de la fuente

Se pesa la ceniza sobre una plancheta para conseguir el valor para ρ_s de más de $0,1 \text{ mg/mm}^2$. Si el residuo no es lo suficientemente fino, se tritura en un mortero.

Si el volumen de la muestra, V , utilizado en 7.3 ha producido un valor de ρ_s menor de $0,1 \text{ mg/mm}^2$, se transfiere tanto como sea posible del residuo a la plancheta.

Ya que la eficiencia de conteo de las partículas alfa se ve seriamente afectada por el espesor de la fuente (véase la Referencia [9]), es importante mantener que la carga de masa de la muestra sea la misma que la del patrón de calibración. Esto se consigue tanto por preparación de la fuente patrón de la misma carga de masa de la muestra, m_r , para la calibración del sistema de detección, como por repetición del procedimiento con la adición de sales de calcio a la muestra de agua para conseguir la misma carga de masa que en el patrón de calibración.

Se dispersa el residuo uniformemente sobre la plancheta mediante escurrido con unas pocas gotas de un disolvente orgánico volátil (por ejemplo, metanol o acetona) y se deja secar hasta masa constante. Se registra el tiempo y la fecha de la preparación de la fuente y se comprueba que no se ha perdido residuo.

Para minimizar el efecto de auto-absorción sobre la eficiencia de conteo de las partículas alfa, es esencial producir fuentes de conteo dispersas uniformemente. Puede añadirse acetato de polivinilo (PVA) (6.1.6) al disolvente [por ejemplo, 1 g de PVA disuelto en 100 ml (+5%) de disolvente] para ayudar en el ligado de la fuente durante la evaporación.

7.7 Medición

Se ajusta el contador (6.2.2) de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Inmediatamente después del secado de la fuente, se comienza el recuento de la actividad sobre la plancheta durante un tiempo apropiado. Se anota el tiempo, la duración del recuento y la fecha.

El tiempo de recuento depende de la muestra y de las tasas de recuento del fondo, y también del límite de detección y del umbral de decisión requeridos.

NOTA El recuento sobre un periodo de 1 mes puede revelar crecimiento de los radionúclidos descendientes a partir de los isótopos del radio. La interpretación de estos datos puede complicarse por la presencia de las series de radionúclidos del uranio y/o torio. A niveles ambientales normales, es raro que aparezcan estos fenómenos, particularmente cuando el tiempo de recuento es largo. Sin embargo, durante un periodo de 1 mes, las aguas brutas con alto contenido en ^{226}Ra pueden mostrar un crecimiento de radionúclidos descendientes de hasta cuatro veces la tasa de recuento inicial.

7.8 Determinación del fondo

Se mide la actividad del fondo utilizando una plancheta limpia. Los recuentos repetidos confirman la estabilidad del fondo.

7.9 Preparación de las fuentes de calibración

ADVERTENCIA - Este procedimiento requiere la preparación de un polvo seco con radionúclidos añadidos que emitan radiación alfa. Debe evitarse la incorporación accidental de partículas radioactivas. Se recomienda la utilización de una cabina cerrada con manipulación a través de guantes para la preparación de las fuentes con añadidos. Alternativamente, puede utilizarse una campana de humos de laboratorio, siempre que la corriente de extracción no sea excesiva y capaz de crear perturbaciones o de causar la suspensión de las partículas de polvo finas en el aire.

Se pesan aproximadamente 2,5 g de sulfato de calcio (6.1.7) dentro de un vaso de precipitados de 150 ml. Cuidadosamente se añaden 10 ml ($\pm 1\%$) de ácido nítrico caliente (6.1.3), se agita y se añaden hasta 100 ml de agua caliente (6.1.1).

Se añade una cantidad conocida exacta (unos 5 Bq a 10 Bq) del patrón apropiado.

Se transfiere la disolución al disco de sílice o de porcelana de 200 ml (que previamente se calcinó a 350 °C), se pesa con $\pm 0,001$ g, y se evapora la disolución hasta sequedad utilizando una lámpara infrarroja.

Se calcina el residuo seco en el horno de mufla (6.2.4) a (350 ± 10) °C durante 1 h.

Se calcula la actividad por unidad de masa del CaSO_4 , en $\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$, utilizando la masa del residuo calcinado y la actividad añadida al patrón elegido (^{241}Am , ^{239}Pu o U de composición isotópica natural).

Se aplasta (y tritura con un mortero, si es necesario) el sólido para producir un polvo fino de forma similar al que se utiliza para la preparación de la muestra.

Se preparan las fuentes de la plancheta en la forma que se especifica para las muestras.

Se miden estas fuentes de calibración en el contador alfa (6.2.2).

7.10 Sensibilidad y sesgo

Estos son dependientes de la cantidad de material inorgánico en el agua, de las características del detector y de la presencia de radionúclidos. En el anexo A se proporciona un ejemplo de los criterios de comportamiento.

Dado que el resultado se expresa como una concentración equivalente de la actividad frente a la calibración patrón seleccionada, el patrón debe ser elegido cuidadosamente con el fin de minimizar el sesgo. En la tabla 1 se registran como un ejemplo los datos de eficiencia de conteo obtenidos con un detector de pantalla de centelleo de sulfuro de cinc activado con plata para varios radionúclidos.

Tabla 1 – Ejemplo de datos de eficiencia de conteo

Radionúclido		Energía máxima por desintegración MeV	Eficiencia de conteo ^{a,b} %
^{252}Cf		6,1	13,0
^{241}Am		5,5	11,0
^{239}Pu		5,1	7,1
U (composición isotópica natural)	^{238}U	4,2	6,4
	^{234}U	4,8	
	^{235}U	4,4	
<p>a La eficiencia de conteo varía entre los radionúclidos presentes en el residuo, las preparaciones de muestra y los detectores utilizados.</p> <p>b La sensibilidad y sesgo obtenidos cuando se utilizan diferentes patrones radioactivos se indican en esta tabla con la eficiencia de conteo para una fuente de tamaño constante aumentando con la energía de la partícula alfa.</p>			

7.11 Optimización de la determinación

Es necesario optimizar el espesor de la fuente dado que las partículas alfa son absorbidas en gran medida por la materia. En este método, el espesor debería ser $> 0,1 \text{ mg}\cdot\text{mm}^{-2}$ ($10 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$).

Con el fin de mantener la densidad del material y la distribución de la radioactividad tan constantes como sea posible, es necesario hacer que la muestra y la fuente patrón sean tan iguales como sea posible.

8 Comprobación de la contaminación

8.1 Generalidades

Se comprueba la contaminación de los reactivos por evaporación de los volúmenes de los reactivos utilizados en el procedimiento dentro de planchetas separadas. Se comprueba la contaminación del sistema completo mediante el procesamiento de 1 l de agua destilada acidificada con 20 ml de ácido nítrico (6.1.3), en la cual se ha añadido gel de sílice de grado reactivo para cromatografía ($0,1 \text{ S } \rho_s \pm 1$) mg, y se mide la actividad. Ésta puede compararse con la actividad de una suspensión directa de ($0,1 \rho_s \text{ S } \pm 1$) mg de gel de sílice sobre una plancheta. Se asegura que la actividad no es significativamente diferente a la de la muestra de gel de sílice procesada.

Si la actividad es significativamente diferente, se seleccionan reactivos con radioactividad más baja, o se determina y corrige el blanco como se preparó siguiendo el procedimiento para la comprobación de la contaminación del sistema completo dado anteriormente.

8.2 Pérdidas de isótopos de radón

Algunos radionúclidos se pierden por volatilización cuando se utiliza este método. En las series de desintegración del uranio, se perdería el ^{222}Rn durante el procesamiento. Cuando está presente el ^{226}Ra , se desarrollan posteriormente el ^{222}Rn y sus descendientes que emiten radiaciones alfa y beta. Un efecto similar se produce con los radionúclidos de la serie de desintegración del torio.

8.3 Pérdidas de polonio

Algunos isótopos de polonio que emiten radiaciones alfa, que se presentan de forma natural en las series de desintegración del uranio y el torio, pueden incluir una proporción significativa de actividad alfa total de la misma muestra de agua. Algunos de los compuestos de polonio, particularmente los haluros que son volátiles a temperaturas relativamente bajas, pueden perderse (véanse las Referencias [10] y [11]). Sin embargo, los nitratos y sulfatos de polonio son estables hasta al menos $400 \text{ }^\circ\text{C}$; por tanto, no se esperan pérdidas de polonio para muestras que han sido acidificadas con ácido nítrico y se han sometido a sulfatación.

9 Expresión de los resultados

9.1 Cálculo de la concentración de la actividad

La concentración de la actividad de la muestra, c_A , en becquerels por litro, de la muestra de agua puede obtenerse mediante la fórmula (2):

$$c_A = \frac{r_g - r_0}{V \cdot \varepsilon} = \frac{r_g - r_0}{w} \text{ con } w = \frac{1}{V \cdot \varepsilon} \quad (2)$$

La eficiencia de conteo se calcula utilizando la fórmula (3):

$$\varepsilon = \frac{r_s - r_0}{A} \quad (3)$$

El volumen se proporciona mediante la fórmula (4):

$$V = \frac{V_t}{m} \cdot m_r \quad (4)$$

9.2 Incertidumbre normalizada

Como se especifica en la Guía ISO/IEC 98-3 (GUM) (véase también la Norma ISO 11929), la incertidumbre combinada de c_A se calcula, a partir de la fórmula (1), mediante la fórmula (5):

$$u(c_A) = \sqrt{w^2 \cdot [u^2(r_g) + u^2(r_0)] + c_A^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(w)} = \sqrt{w^2 \cdot (r_g/t_g + r_0/t_0) + c_A^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(w)} \quad (5)$$

donde la incertidumbre normalizada del tiempo de conteo se desprecia y la incertidumbre normalizada relativa de w se calcula utilizando la fórmula (6):

$$u_{\text{rel}}^2(w) = u_{\text{rel}}^2(\varepsilon) + u_{\text{rel}}^2(V) \quad (6)$$

La incertidumbre normalizada relativa de ε se calcula utilizando la fórmula (7):

$$u_{\text{rel}}^2(\varepsilon) = u_{\text{rel}}^2(r_s - r_0) + u_{\text{rel}}^2(A) = (r_s/t_s + r_0/t_0) / (A \cdot \varepsilon)^2 + u_{\text{rel}}^2(A) \quad (7)$$

donde $u_{\text{rel}}^2(A)$ incluye todas las incertidumbres relativas a la actividad de la fuente de calibración: certificado de calibración, preparación de la disolución patrón y adición del patrón a la fuente de calibración.

La incertidumbre normalizada relativa de V se calcula utilizando la fórmula (8):

$$u_{\text{rel}}^2(V) = u_{\text{rel}}^2(V_t) + u_{\text{rel}}^2(m_r) + u_{\text{rel}}^2(m) \quad (8)$$

Para el cálculo de los límites característicos (véase la Norma ISO 11929), uno necesita $\tilde{u}(\tilde{c}_A)$, es decir, la incertidumbre normalizada de c_A como una función de su valor verdadero, \tilde{c}_A , calculada utilizando la fórmula (9):

$$\tilde{u}(\tilde{c}_A) = \sqrt{w^2 \cdot [(\tilde{c}_A / w + r_0) / t_g + r_0 / t_0] + \tilde{c}_A^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(w)} \quad (9)$$

9.3 Umbral de decisión

El umbral de decisión, c_A^* , se obtiene a partir de la fórmula (9) para $\tilde{c}_A = 0$ (véase la Norma ISO 11929). Esto da lugar a la fórmula (10):

$$c_A^* = k_{1-\alpha} \cdot \tilde{u}(0) = k_{1-\alpha} \cdot w \cdot \sqrt{r_0 / t_g + r_0 / t_0} \quad (10)$$

donde c_A^* se expresa en becquerels por litro.

$\alpha = 0,05$ con $k_{1-\alpha} = 1,65$ se elige a menudo por defecto.

9.4 Límite de detección

El límite de detección, $c_A^\#$, se calcula utilizando la fórmula (11) (véase la Norma ISO 11929):

$$c_A^\# = c_A^* + k_{1-\beta} \cdot \tilde{u}_c(c_A^*) = c_A^* + k_{1-\beta} \cdot \sqrt{w^2 \cdot [(c_A^\# / w + r_0) / t_g + r_0 / t_0] + c_A^{\#2} \cdot u_{\text{rel}}^2(w)} \quad (11)$$

donde $c_A^\#$ se expresa en becquerels por litro.

$\alpha = \beta = 0,05$ con $k_{1-\alpha} = k_{1-\beta} = 1,65$ se elige a menudo por defecto.

El límite de detección puede calcularse resolviendo la fórmula (11) para $c_A^\#$ o, más simple, por iteración con una aproximación de inicio $c_A^\# = 2 \cdot c_A^*$.

Cuando se toma $k_{1-\alpha} = k_{1-\beta} = k$, la solución de la fórmula (11) viene dada por la fórmula (12):

$$c_A^\# = \frac{2 \cdot c_A^* + (k^2 \cdot w) / t_g}{1 - k^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(w)} \quad (12)$$

9.5 Límites del intervalo de confianza

Los límites del intervalo de confianza inferior, $c_A^<$, y superior, $c_A^>$, se calculan utilizando las fórmulas (13) y (14) (véase la Norma ISO 11929):

$$c_A^< = c_A - k_p \cdot u(c_A); p = \omega \cdot (1 - \gamma/2) \quad (13)$$

$$c_A^> = c_A + k_q \cdot u(c_A); q = 1 - \omega \cdot \gamma/2 \quad (14)$$

donde

$$\omega = \Phi[y/u(y)];$$

Φ es la función de distribución de la distribución normal normalizada;

$1 - \gamma$ es la probabilidad para el intervalo de confianza del mensurando.

Puede ajustarse $\omega = 1$ si $c_A \geq 4 u(c_A)$. En este caso [véase la fórmula (15)]:

$$c_A^<, c_A^> = c_A \pm k_{1-\gamma/2} \cdot u(c_A) \quad (15)$$

$\gamma = 0,05$ y entonces $k_{1-\gamma/2} = 1,96$ se elige a menudo por defecto.

10 Informe del ensayo

El informe del ensayo debe ser conforme con los requisitos de la Norma ISO/IEC 17025. Debe contener la siguiente información:

- el método de ensayo utilizado, junto con una referencia a este documento, es decir, la Norma ISO 9696;
- la identificación de la muestra;
- las fechas de la preparación y medición de la muestra;
- las unidades en las que se expresan los resultados;
- el resultado de ensayo, $c_A \pm u(c_A)$ o $c_A \pm U$, con el valor de k asociado.

Puede proporcionarse información complementaria como:

- las probabilidades α , β y $(1 - \gamma)$;
- el umbral de decisión y el límite de detección;

- h) dependiendo de los requisitos del cliente, existen diferentes formas de presentar el resultado:
- 1) cuando la concentración de la actividad, c_A , se compara con el umbral de decisión (véase la Norma ISO 11929), el resultado de la medición debería expresarse como $\leq c_A^*$ cuando el resultado esté por debajo del umbral de decisión;
 - 2) cuando la concentración de la actividad, c_A , se compara con el límite de detección, el resultado de la medición puede expresarse como $\leq c_A^\#$ cuando el resultado esté por debajo del límite de detección. Si el límite de detección excede el valor de referencia, debe documentarse que el método no es adecuado para fines de medición;
- i) mención de cualquier información relevante que pudiera afectar a los resultados.

Anexo A (Informativo)

Criterios de comportamiento

El método, como se describe en este documento, es idéntico al método descrito en la Norma NEN 5622:2006^[12] validada como parte de un gran proyecto para validar las normas de medición de la radioactividad. El proyecto fue encargado por el departamento holandés del Ministerio de vivienda, ordenación territorial y medio ambiente al NEN, el Instituto de Normalización Holandés. La validación se realizó por el Centro para la Tecnología de Radiación Avanzada (KVI), el Grupo de Investigación y Asesoría Nuclear (NRG), y el Instituto Nacional para la Salud Pública y el Medio Ambiente (RIVM), todos institutos de Holanda. Los resultados de esta validación se enumeran en la tabla A.1.

Tabla A.1 – Criterios de comportamiento

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Número de laboratorios participantes	7	7	7
Número de determinaciones por laboratorio	3	3	3
Número de resultados rechazados	2	2	2
Resultado medio de la determinación (a_m), en Bq·g ⁻¹	2,56	49,39	48,28
Valor verdadero, en Bq·g ⁻¹	2,76	53,99	55,74
Desviación normalizada de la repetibilidad (s_r), en Bq·g ⁻¹	0,10	2,01	2,19
Coefficiente de variación de la repetibilidad (vc_r), en %	4,0	4,1	4,5
Límite de repetibilidad (r), en Bq·g ⁻¹	0,29	5,64	6,13
Desviación normalizada de la reproducibilidad (s_R), en Bq·g ⁻¹	0,34	5,00	5,96
Coefficiente de variación de la reproducibilidad (vc_R), en %	13,2	10,1	12,4
Límite de reproducibilidad (R), en Bq·g ⁻¹	0,95	14,01	16,70
Desviación sistemática (δ), en Bq·g ⁻¹	-0,20	-4,61	-7,46
Límite de detección (AG_r), en Bq·g ⁻¹	0,20	0,20	0,20
Muestra 1: polvo de CaSO ₄ con baja actividad alfa [(2,76 ± 0,06) Bq·g ⁻¹]. Muestra 2: polvo de CaSO ₄ con alta actividad alfa [(54,0 ± 1,2) Bq·g ⁻¹]. Muestra 3: polvo de CaSO ₄ con alta actividad alfa [(55,7 ± 1,2) Bq·g ⁻¹] y actividad beta. Se utilizó ²⁴¹ Am para la calibración para determinar la eficiencia alfa, así como para añadir a la muestra de ensayo.			

Bibliografía

- [1] ICRP. *Annals of the ICRP. Publication 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. Editor J. VALENTIN Published for The International Commission on Radiological Protection, 2007
- [2] IAEA. *Environmental and Source Monitoring for Purposes of Radiation Protection. Safety Guide No. RS-G-1.8*. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2005
- [3] WHO. *Guidelines for drinking-water quality. Third edition, World Health Organization, Geneva, 2010*
- [4] ISO 5667-20, *Water quality. Sampling. Part 20: Guidance on the use of sampling data for decision making. Compliance with thresholds and classification systems*
- [5] CODEX ALIMENTARIUS FAO-WHO (2011), *Fact Sheet on Codex Guideline Levels for Radionuclides in Foods Contaminated Following a Nuclear or Radiological Emergency. prepared by Codex Secretariat (2 May 2011)*
- [6] IAEA GS-R-2 (2004), *Preparedness and response for a nuclear or radiological emergency safety requirements (Jointly sponsored by FAO, IAEA, ILO, OECD/NEA, PAHO, OCHA, WHO)*
- [7] IAEA GSG-2 (2011), *Criteria for use in preparedness and response for a nuclear or radiological emergency (Jointly sponsored by FAO, IAEA, ILO, OECD/NEA, PAHO, OCHA, WHO)*
- [8] SEMKOW T.M., PAREKH P.P. Principles of gross alpha and beta radioactivity detection in water. *Health Phys.* 2001, **81** pp. 567–574
- [9] SEMKOW T.M., BARI A., PAREKH P.P., HAINES D.K., GAO H., BOLDEN A.N. et al. Experimental investigation of mass efficiency curve for alpha radioactivity counting using a gas-proportional detector. *Appl. Radiat. Isot.* 2004, **60** (6) pp. 879–886
- [10] BAGNALL K.W. *Chemistry of the rare radio elements*. Butterworth Scientific Publ, 1957
- [11] EAKINS J.D., MORRISON R.T. A new procedure for the determination of lead-210 in lake and marine sediments. *Int. J. Appl. Radiat. Isot.* 1978, **29** pp. 531–536
- [12] NEN 5622:2006, Radioactivity measurements. Determination of massic gross-alpha activity of a solid counting sample by the thick source method

Para información relacionada con el desarrollo de las normas contacte con:

Asociación Española de Normalización
Génova, 6
28004 MADRID-España
Tel.: 915 294 900
info@une.org
www.une.org

Para información relacionada con la venta y distribución de las normas contacte con:

AENOR INTERNACIONAL S.A.U.
Tel.: 914 326 000
normas@aenor.com
www.aenor.com



organismo de normalización español en:

