

Guía de Seguridad 5.3 (Rev. 1)

Control de la hermeticidad de fuentes radiactivas encapsuladas

CSN

Colección Guías de Seguridad del CSN

- 1 Reactores de Potencia y Centrales Nucleares
- 2 Reactores de Investigación y Conjuntos Subcríticos
- 3 Instalaciones del Ciclo del Combustible
- 4 Vigilancia Radiológica Ambiental
- 5 Instalaciones y Aparatos Radiactivos**
- 6 Transporte de Materiales Radiactivos
- 7 Protección Radiológica
- 8 Protección Física
- 9 Gestión de Residuos
- 10 Varios
- 11 Radiación Natural

Guía de Seguridad 5.3 (Rev. 1)

Control de la hermeticidad de fuentes radiactivas encapsuladas

Madrid, 27 de febrero de 2013

Colección: Guías de Seguridad
Referencia: GSG-05.03 (Rev. 1)

© Copyright Consejo de Seguridad Nuclear, 2013

Publicado y distribuido por:
Consejo de Seguridad Nuclear
Pedro Justo Dorado Dellmans, 11. 28040 - Madrid
<http://www.csn.es>
peticiones@csn.es

Imprime: Imprenta Fareso, S.A.
Paseo de la Dirección, 5. 28039 Madrid

Depósito legal: M. 15.275-2013



Impreso en papel reciclado

Índice

Preámbulo	5
1. Objeto y ámbito de aplicación	7
1.1. Objeto	7
1.2. Ámbito de aplicación	7
2. Definiciones	9
3. Consideraciones generales para el desarrollo de pruebas de hermeticidad	9
4. Métodos de prueba	12
4.1. Inspección visual	13
4.2. Prueba de frotis	14
4.3. Prueba de inmersión	18
4.4. Prueba de emanación gaseosa (para fuentes de radio-226)	19
4.5. Criterios para la elección del método de prueba	22
5. Límites de fuga	23
6. Certificado de hermeticidad	23
7. Medidas a tomar en caso de falta de hermeticidad ..	24
8. Requisitos aplicables a las entidades que efectúen pruebas de hermeticidad	26
Referencias bibliográficas	28
Anexos	
I. Equipos de medida	31
II. Modelo de certificado de hermeticidad	34

Preámbulo

Las pruebas de hermeticidad que se realizan a intervalos periódicos sobre las fuentes radiactivas encapsuladas tienen como objetivo principal la prevención de los posibles riesgos de contaminación, externa o interna, que podrían derivarse de una pérdida de hermeticidad de las mismas. Gracias a estas pruebas es posible detectar con rapidez cualquier fuente radiactiva encapsulada que haya dejado, o que previsiblemente puede llegar a dejar de ser estanca, por haber estado sometida a tensiones excesivas o a un uso prolongado, y, por tanto, sea necesario proceder a su retirada y aislamiento.

Por este motivo, la realización de pruebas de hermeticidad es un componente fundamental en el control radiológico de las fuentes radiactivas encapsuladas. Para la elección del método de prueba a utilizar han de considerarse distintos aspectos prácticos y operacionales, y la información relevante que resulte de cada prueba debe ser documentada, con la finalidad de mantener un control efectivo sobre las fuentes radiactivas encapsuladas.

Esta guía pretende aportar recomendaciones sobre determinados aspectos relacionados con las pruebas de hermeticidad y ser así de utilidad, tanto para las instalaciones poseedoras de fuentes radiactivas encapsuladas obligadas a realizar estas pruebas periódicas, como para las entidades externas que estén autorizadas para prestar este servicio. Asimismo, pretende facilitar la vigilancia y el control que ejerce el Consejo de Seguridad Nuclear sobre esta actividad.

Habida cuenta de estas circunstancias y de las lecciones aprendidas a lo largo de más de 20 años de experiencia en el control regulador de esta actividad, el Consejo de Seguridad Nuclear ha estimado necesario realizar una revisión de la guía de Seguridad GS-05.03, con objeto de actualizar su contenido, adaptándolo a las prácticas reguladoras actuales, así como a los criterios y recomendaciones de las normas internacionales y nacionales de otros países.

La obligatoriedad de realizar este tipo de pruebas deriva, para las instalaciones donde se producen, utilizan, poseen, tratan, manipulan y almacenan fuentes radiactivas encapsuladas, del apartado II.B.2 de la Instrucción IS-28, del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre las especificaciones de funcionamiento de instalaciones radiactivas [19].

Por otra parte, para las fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad, además, es de aplicación el artículo 8 a) del Real Decreto 229/2006, de 24 de febrero, sobre el control de fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad y fuentes huérfanas [18].

En cualquier caso, se debe distinguir entre los métodos de prueba que se aplican a las fuentes radiactivas en uso y los métodos que ponen en práctica los fabricantes de fuentes radiactivas para garantizar la hermeticidad de las mismas, con carácter previo a su suministro a los usuarios, puesto que, en general, no se emplean los mismos métodos para ambos casos. Esta guía de seguridad aborda únicamente aquellos ensayos de prueba que son de utilidad práctica para comprobar la hermeticidad de las fuentes radiactivas durante su vida útil.

Por otra parte, se hace notar que los métodos recomendados en esta guía son los más básicos de los recogidos en la normativa aplicable, considerándose igualmente aceptables los restantes métodos contemplados en la misma.

1 Objeto y ámbito de aplicación

1.1 Objeto

El objetivo de esta guía es definir los criterios aplicables al desarrollo de las pruebas de hermeticidad que se realizan sobre las fuentes radiactivas encapsuladas, y aportar distintas recomendaciones al respecto.

En estas recomendaciones se incluyen:

- Los métodos de prueba más habituales.
- Los criterios para la elección del método más adecuado para cada tipo de fuente y situación.
- Las medidas de protección radiológica operacional que han de considerarse durante el desarrollo de las pruebas de hermeticidad.
- Los límites de fuga a partir de los cuales una fuente ha de considerarse como no estanca y las acciones que deben tomarse en esas circunstancias.
- La documentación inherente al proceso y las certificaciones resultantes
- Los criterios que el Consejo de Seguridad Nuclear sigue para informar favorablemente la autorización para que una entidad pueda realizar este tipo de pruebas y el formato del certificado de hermeticidad que se recomienda utilizar.

Con esta guía se pretende dar indicaciones generales para el desarrollo de esta actividad, que puedan ser de utilidad tanto para las instalaciones usuarias de fuentes radiactivas encapsuladas, como para las entidades externas que estén autorizadas para la realización de pruebas de hermeticidad, con la intención de que cada instalación o entidad adapte los criterios aquí expuestos a sus propias necesidades.

1.2 Ámbito de aplicación

La presente guía es de aplicación a la realización de las pruebas de hermeticidad sobre fuentes radiactivas encapsuladas, en uso o almacenadas, con el objetivo de certificar su hermeticidad.

Es aplicable a las pruebas de hermeticidad que se realizan en intervalos de tiempo periódicos, de acuerdo con las especificaciones normativas, así como a aquellas pruebas de

hermeticidad que se realizan puntualmente tras un uso excesivo de las fuentes radiactivas encapsuladas, o inmediatamente después de cualquier intervención de asistencia técnica o incidente que pudiera afectar a la integridad de las mismas.

Por lo tanto, esta guía no es de aplicación a las pruebas de hermeticidad que se realizan con carácter previo a la comercialización y puesta en servicio de fuentes radiactivas encapsuladas, que deben ser llevadas a cabo por las empresas fabricantes de las fuentes.

Tampoco es de aplicación para las pruebas de hermeticidad que se realizan a aquellas fuentes radiactivas encapsuladas para las que deban tenerse en cuenta criterios particulares, como son aquellas fuentes que contengan, únicamente:

- a) Radionucleidos de período de semidesintegración inferior a 30 días.
- b) Radionucleidos en forma gaseosa, incluyendo el tritio (hidrógeno-3).
- c) Radionucleidos emisores de radiación beta o gamma, con una actividad igual o inferior a 3,7 MBq (100 µCi).
- d) Radionucleidos emisores de radiación alfa o neutrónica con una actividad igual o inferior a 0,37 MBq (10 µCi).

Y no será de aplicación a aquellas fuentes que, por sus características específicas, hayan sido excluidas expresamente por el Consejo de Seguridad Nuclear de la necesidad de ser sometidas a este tipo de pruebas.

Así, por ejemplo, pueden existir casos puntuales en los que el Consejo de Seguridad Nuclear estime expresamente, en base a sus actividades de evaluación y control, que no es necesario llevar a cabo pruebas de hermeticidad periódicas sobre determinadas fuentes radiactivas. Tal es el caso, por ejemplo, de las fuentes de iridio-192 que, debido a su corto período de semidesintegración, se recambian cada tres meses, por lo que las pruebas de hermeticidad resultan innecesarias.

Otro ejemplo lo representan las fuentes radiactivas que están alojadas en el interior de los equipos de irradiación de dosímetros, propios de los servicios de dosimetría personal externa. En este caso, las propias fuentes tienen un diseño y un encapsulamiento con una probabilidad de fuga muy baja, y además, el modo en el que se encuentran alojadas en el interior de los equipos implica una probabilidad muy elevada de desajustar el equipo de irradiación si se realiza una prueba de hermeticidad sobre la fuente.

2 Definiciones

Las definiciones de los términos y conceptos utilizados en la presente guía se corresponden con las contenidas en las siguientes normas legales:

- Ley 25/1964, de 29 de abril, sobre Energía Nuclear.
- Ley 15/1980, de 22 de abril, de Creación del Consejo de Seguridad Nuclear.
- Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas.
- Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes.
- Real Decreto 229/2006, de 24 de febrero, sobre el control de fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad y fuentes huérfanas.

Además de lo anterior, dentro del contexto de esta guía, los términos siguientes se entienden como sigue:

Frotis: frotamiento de la superficie exterior, accesible o equivalente, de una fuente encapsulada con un material de alta capacidad absorbente, humedecido con un líquido que no dañe la superficie, para verificar la hermeticidad de la cápsula a través de la actividad recogida por el material.

Fuente encapsulada: fuente encerrada en una estructura que impide la liberación del material radiactivo en condiciones prefijadas de uso y ambientales.

Superficie de prueba equivalente: superficie próxima a una fuente encapsulada, y con mayor probabilidad de estar contaminada, sobre la cual se efectúa un frotis para verificar la hermeticidad de la cápsula cuando la accesibilidad sea limitada.

3 Consideraciones generales para el desarrollo de pruebas de hermeticidad

El objetivo de las pruebas de hermeticidad es detectar aquellas fuentes radiactivas encapsuladas que como consecuencia de su envejecimiento, desgaste, deterioro o utilización excesiva

han perdido su hermeticidad, para tomar medidas que garanticen la seguridad de las mismas y de sus posibles usuarios, con la finalidad de evitar la contaminación de personas, zonas u objetos, así como la incorporación de material radiactivo.

Los ensayos de hermeticidad comprenden dos procesos prácticos distintos, que son la toma de muestras y la medida de las mismas. Con carácter previo a estos procesos debe realizarse la inspección visual de la fuente encapsulada o del equipo o dispositivo en el que se encuentre alojada, según lo indicado en el apartado 4.1 de esta guía. Posteriormente, debe llevarse a cabo la prueba mediante un método de ensayo apropiado, tal y como se describe en los apartados 4.2 a 4.5 de la presente guía. Como resultado de esta actividad, se deben generar una serie de documentos y certificaciones, inherentes al proceso e imprescindibles para el control posterior de las fuentes.

Estas pruebas, que garantizan la hermeticidad de las fuentes radiactivas encapsuladas y la ausencia de contaminación superficial, deben ser realizadas por entidades que dispongan de recursos humanos cualificados y de los medios técnicos necesarios, según se expone en el apartado 8.

El personal técnico que realice o supervise las pruebas de hermeticidad debe disponer de una formación adecuada en materia de protección radiológica. Así, por ejemplo, la toma de las muestras debe ser realizada por personal técnico que conozca el procedimiento establecido para llevar a cabo las pruebas de hermeticidad; el tipo, la actividad y la toxicidad de la fuente radiactiva encapsulada sobre la que se va a efectuar la prueba; y, en su caso, su alojamiento exacto en el interior del equipo o dispositivo. Asimismo, este personal debe estar capacitado para reconocer y minimizar una posible contaminación potencial, así como los riesgos radiológicos inherentes al proceso, tanto en lo que concierne a la propia fuente o al equipo o dispositivo en el que está alojada, como en lo que respecta al proceso de muestreo.

Por otra parte, es indispensable disponer de los medios materiales necesarios y adecuados para efectuar la toma de muestras. A tal efecto, antes de realizar una prueba de hermeticidad, deben conocerse las características intrínsecas a la fuente sobre la que se va a llevar a cabo la prueba (principalmente nivel de actividad y tipo de encapsulamiento), así como sus riesgos radiológicos. Todo ello con el objetivo de definir la dotación de medios que resulte más apropiada para llevar a cabo la prueba de hermeticidad.

En general, para evitar contaminaciones personales accidentales debe manejarse la fuente como si esta estuviera realmente contaminada, utilizando a tal fin elementos de protección

personal, tales como batas, guantes de goma, y herramientas que permitan una manipulación a distancia, como por ejemplo pinzas, evitando de este modo, siempre que sea posible, el contacto directo con la fuente.

Para eliminar riesgos radiológicos indebidos debe aplicarse el criterio ALARA, de forma que el riesgo de contaminación o irradiación para el personal que realiza la prueba se mantenga tan bajo como sea razonablemente posible. Por lo tanto, el personal no debe exponerse innecesariamente a la radiación. Así, por ejemplo, cuando la prueba se realice sobre fuentes o superficies de prueba equivalentes con altos valores de actividad, es imprescindible la utilización de herramientas que permitan tomar y manipular las muestras a distancia, de forma que se consiga proteger a la persona que efectúa la prueba. Por otra parte, la manipulación de las fuentes debe realizarse con cuidado, a fin de evitar daños o desperfectos durante la realización de la prueba.

En cualquier caso, las pruebas de hermeticidad deben ser llevadas a cabo por trabajadores expuestos a las radiaciones ionizantes, que estén sometidos al control dosimétrico reglamentario.

La determinación cuantitativa de las muestras puede efectuarse posteriormente, incluso al cabo de días, en el laboratorio o centro de inspección; sin embargo, en estos casos es especialmente importante la realización de mediciones radiológicas previas y aproximadas en el punto de muestreo, de forma que puedan descartarse posibles fugas que pongan en peligro la seguridad.

La periodicidad con la que deben realizarse las pruebas de hermeticidad a fuentes radiactivas de alta actividad está establecida en el artículo 8 a) del Real Decreto 229/2006, sobre el control de fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad y fuentes huérfanas [18]. Según el real decreto citado, estas deben realizarse en intervalos periódicos no superiores a un año y siempre tras cualquier incidente que pudiera afectar a la integridad de la fuente.

Por otra parte, de conformidad con el apartado II.B.2 de la instrucción IS-28 del Consejo de Seguridad Nuclear [19], en general, las fuentes radiactivas encapsuladas deben ser sometidas a pruebas de hermeticidad periódicas en intervalos no superiores a un año, a excepción de los siguientes casos (estas excepciones no aplican a fuentes de alta actividad):

- Las fuentes estáticas incorporadas a equipos fijos, que se realizarán con una periodicidad no superior a dos años.

- Las fuentes incorporadas a un equipo en desuso, que se realizarán cuando dicho equipo vaya a ponerse en funcionamiento.
- Y las fuentes que se recambien en períodos superiores a un año e inferiores a dos años, a las que se realizarán las pruebas de ausencia de contaminación superficial cuando se proceda al cambio de la fuente.

En cualquier caso, siempre que exista la sospecha de que la fuente haya podido sufrir algún deterioro o daño, así como tras cualquier incidente que pudiera afectar a la integridad de las fuentes radiactivas o tras cualquier intervención de asistencia técnica sobre los equipos o dispositivos en los que se encuentren confinadas las fuentes, que pueda afectar a las mismas, debe realizarse una prueba de hermeticidad, mediante uno de los ensayos recomendados.

La periodicidad de realización de los ensayos también puede variar en función de los resultados obtenidos en las pruebas de hermeticidad realizadas previamente, o en función del uso de la fuente. Así, por ejemplo, es apropiado reducir la periodicidad establecida para la realización de los ensayos, cuando las fuentes encapsuladas han alcanzado la vida útil recomendada por el fabricante; o, por el contrario, puede ser adecuado aumentar la periodicidad de los ensayos que se realizan sobre fuentes radiactivas que disponen de varios encapsulamientos, o sobre fuentes que están permanentemente almacenadas y que no están expuestas a agentes corrosivos, humedad, polvo, etc. En estos casos, el Consejo de Seguridad Nuclear recomienda que la entidad autorizada a realizar las pruebas comunique y justifique documentalmente las razones que han motivado el cambio e indique el criterio aplicado, con anterioridad a su puesta en práctica.

4 Métodos de prueba

Existen distintos métodos de prueba para llevar a cabo las pruebas de hermeticidad. Muchos de estos métodos están descritos en las partes 3 y 4 de la norma DIN 25426 [2] [1] y en la norma ISO 9978:1992 [3]. En esta guía se detallan únicamente los métodos de prueba que se vienen utilizando con mayor frecuencia.

El procedimiento concreto que se debe aplicar en cada caso depende del radionucleido, de su actividad, del espesor y de la naturaleza de su encapsulamiento, así como, en su caso, de la forma en que la fuente está alojada dentro de un equipo o dispositivo.

El método de prueba más utilizado para los ensayos periódicos es la prueba de frotis, que se describe en el apartado 4.2.

Sin embargo, este método no es apropiado para todas las fuentes radiactivas. Así, por ejemplo, para las fuentes encapsuladas que requieren una cuantificación muy precisa de su actividad o que están recubiertas por un encapsulamiento frágil y muy delgado es más apropiado utilizar el método por inmersión, que se detalla en el apartado 4.3.

Para las fuentes encapsuladas que contienen radionucleidos gaseosos, como las fuentes de radio-226, en las que la existencia de pequeños poros o grietas en el encapsulamiento conlleva al escape de radón-222 gaseoso, incluso antes de que comience la fuga de radio-226, se utilizan los métodos de emanación gaseosa, según lo indicado en el apartado 4.4.

4.1 Inspección visual

Antes de realizar la prueba de hermeticidad y siempre que sea posible, debe efectuarse una inspección visual de la fuente encapsulada, con el objetivo de detectar posibles corrosiones y defectos mecánicos tales como grietas, abolladuras o abrasiones.

En el caso de fuentes encapsuladas que están alojadas en el interior de equipos o dispositivos, la inspección visual debe incluir también la observación de todos los elementos que sirven para aislar y proteger a la fuente frente al daño mecánico y frente a la entrada de polvo o sustancias corrosivas.

En caso de observar algún defecto, se debe anotar el número de serie de la fuente encapsulada o del equipo o dispositivo en el que está alojada, y el tipo y magnitud del deterioro observado, con el fin de mantener un registro del mismo para su posterior seguimiento y control. En caso de que el daño físico observado sea de tal magnitud que pudiera llegar a afectar a las condiciones de protección radiológica operacional del personal usuario de la fuente y poner en peligro la seguridad de la instalación, las personas o el medio ambiente, debe valorarse la necesidad de aumentar la frecuencia para la realización de las pruebas y controles subsiguientes, o de proceder a la retirada de la fuente.

Para llevar a cabo la inspección visual de fuentes encapsuladas con altos niveles de radiación deben utilizarse herramientas que permitan una observación a distancia, tales como lupas, espejos angulares o vidrios plomados, para minimizar así la exposición a la radiación de la persona que realiza la prueba.

Cuando no sea posible llevar a cabo la inspección visual de la propia fuente encapsulada, debido al diseño del alojamiento de la fuente en el interior de un equipo o dispositivo o a que los niveles de radiación son excesivamente altos, se debe verificar la integridad de los elementos protectores de la fuente y comprobar la ausencia de contaminación en los elementos que protegen a la fuente de la entrada de polvo o de daños mecánicos, tales como obturadores, juntas o pantallas protectoras.

4.2 Prueba de frotis

La prueba de frotis se puede realizar por vía húmeda, en cuyo caso se utiliza un líquido para humedecer el material absorbente, o por vía seca.

4.2.1 Descripción general de la prueba

La prueba de frotis consiste en tomar una muestra (denominada frotis) frotando cuidadosamente la superficie de la fuente, o algunas partes integrantes de la misma, con un material absorbente, y en determinar posteriormente la actividad del material radiactivo presente en la muestra.

El frotis debe realizarse sobre una superficie de prueba equivalente cuando la fuente encapsulada a verificar esté alojada en un equipo o dispositivo y la realización de un frotis sobre la superficie de la misma conlleve un riesgo de irradiación excesivo para el personal que realiza la prueba, o también cuando exista la posibilidad de desajustar el equipo al sacar la fuente encapsulada.

En todo caso, el Consejo de Seguridad Nuclear recomienda que antes de tomar la muestra se valore la necesidad de utilizar medios de protección personal frente a la radiación y/o contaminación.

Siempre que sea posible el frotis debe hacerse por vía húmeda, para lo cual es fundamental seleccionar un disolvente adecuado para humedecer el material absorbente. El disolvente debe elegirse de tal manera que sus propiedades físico-químicas no ataquen a la propia fuente o a la superficie equivalente a muestrear, pero que, a la vez, sean adecuadas para recoger el material radiactivo con la mayor eficiencia posible.

En general, el frotis por vía seca es menos eficaz y debe reservarse para aquellos casos en los que, debido a las características propias de la fuente encapsulada, no sea aconsejable realizar un frotis por vía húmeda.

Cuando el frotis se realiza sobre fuentes encapsuladas o superficies muy activas, el material absorbente debe manipularse a distancia, utilizando herramientas adecuadas para proteger a la persona que efectúa la prueba.

La mayor desventaja de la prueba de frotis es la incertidumbre sobre la fracción de contaminación que se puede llegar a recoger. Por ello es fundamental realizar una planificación previa, evaluando el modo más adecuado de llevar a cabo esta actividad. A estos efectos, puede ser de utilidad considerar los siguientes factores:

- Tipo de superficie donde se realiza el frotis.
- Forma física y química del material radiactivo.
- Tamaño de la superficie a muestrear y presión que se debe ejercer para la realización del frotis.

El material absorbente, el disolvente para humedecerlo y los dispositivos de sujeción más apropiados para cada caso deben seleccionarse en función de estos factores.

4.2.2 Toma de muestra

Esta fase es especialmente relevante en el método de ensayo por frotis, ya que determina la fiabilidad del resultado obtenido.

El frotis se debe realizar en todas las superficies accesibles de la fuente encapsulada, utilizando un algodón o un papel de filtro absorbente, y teniendo cuidado para no dañar el encapsulamiento.

Los materiales absorbentes más comunes son el papel de filtro y el algodón. Los disolventes más utilizados para humedecer el material absorbente son el alcohol, el agua destilada y el tricloroetileno. El alcohol tiene la ventaja de eliminarse más rápidamente por evaporación, lo cual facilita el secado de la muestra, que generalmente es necesario para obtener un resultado preciso durante el posterior proceso de medición.

La presión a ejercer sobre la superficie de la fuente está limitada por la propia resistencia del material de encapsulamiento. Debe evitarse cualquier tipo de deterioro de la fuente y, en consecuencia, debe tenerse especial cuidado con las fuentes radiactivas que tienen un espesor de encapsulamiento muy delgado.

Para evitar que se produzcan procesos de autoabsorción, que puedan falsear la medida de la muestra, es fundamental que la selección del espesor y del tipo de material absorbente a utilizar sean adecuados. Esto es especialmente importante para las fuentes emisoras de radiación alfa o beta. Así, por ejemplo, en caso de utilizar papel de filtro para realizar un frotis sobre fuentes emisoras alfa o beta, este debe mantenerse extendido, de forma que la contaminación quede depositada en una de sus caras y no se produzca absorción de radiación en arrugas o zonas de pliegue. Otra posibilidad para evitar los procesos de autoabsorción es utilizar un material absorbente que tenga un espesor muy delgado. Asimismo, en este caso es fundamental que la medida de la muestra se realice cuando esta se haya secado completamente.

Cuando sea posible, el frotis debe realizarse sobre los puntos de unión o soldaduras del encapsulamiento y, en general, sobre aquellas zonas más susceptibles de estar contaminadas. En caso de que el frotis se realice sobre una superficie equivalente, este debe efectuarse con mayor meticulosidad en las zonas y ranuras que tengan mayor probabilidad de retener la contaminación.

Una vez realizado el frotis, este debe introducirse en una bolsa o en un recipiente de plástico limpio, que debe cerrarse y etiquetarse adecuadamente. Las muestras deben estar claramente identificadas, por lo que es especialmente importante que los elementos que se utilicen para conservar y transportar las muestras (bolsas, recipientes, placas petri, etc.) estén marcados o etiquetados de tal manera que sea posible identificar y conocer el origen exacto de cada muestra. Para ello suele ser conveniente anotar los siguientes datos:

- Identificación de la fuente (número de serie, referencia y actividad).
- Fecha de toma de muestra.
- Nombre de la persona que tomó el frotis.
- Indicación sobre si el frotis se ha realizado sobre la propia fuente o sobre una superficie equivalente.

Para evitar una posible contaminación o irradiación, y de acuerdo con el principio ALARA, se recomienda que el marcaje o etiquetado de estos elementos de transporte se realice con carácter previo a la toma de la muestra.

Asimismo se recomienda disponer de un esquema en el que se aprecie con claridad la posición de la fuente y los puntos de muestreo utilizados.

4.2.3 Medida de la muestra

Con anterioridad a la medición exhaustiva de la muestra y con el objetivo de detectar aquellas fuentes de las que se tenga certeza que han perdido su hermeticidad, se recomienda valorar la necesidad de realizar una medida previa *in situ*, en el propio punto de muestreo, utilizando a tal fin un monitor de radiación o contaminación.

Posteriormente, y generalmente en el laboratorio o centro de medida, se debe llevar a cabo la medida cuantitativa de las muestras.

Para llegar a una determinación cuantitativa de la actividad recogida en la muestra, que sea lo más precisa posible, se puede bien contrastar la medida de la muestra problema frente a la de una fuente patrón, del mismo radioisótopo, de actividad adecuada y medida en condiciones geométricas similares; o bien utilizar la curva de respuesta del equipo de medida para distintas energías (curva de eficiencia de detección frente a energías), que se confecciona midiendo patrones en las mismas condiciones de actividad y geometría de la muestra. En este último caso es necesario llevar a cabo comprobaciones periódicas que garanticen que los puntos de la curva se mantienen, es decir, deben realizarse verificaciones a los equipos de medida.

Si la muestra radiactiva emite radiación gamma, debe medirse este tipo de radiación, debido a su bajo poder de autoabsorción. En el caso de fuentes de radiación alfa o beta, resulta imprescindible esperar al secado de la muestra antes de realizar la medida, ya que puede producirse una atenuación importante de la radiación por el líquido que impregna el material absorbente (esto no se aplica cuando la medida de emisores alfa o beta se realice mediante contadores de centelleo líquido).

Cuando se realice la medición ha de tenerse en cuenta que la actividad de la muestra puede ser tan alta que, como consecuencia del tiempo muerto del contador de muestras se podrán registrar menos impulsos de los que corresponderían, por lo que será necesario aplicar las correcciones correspondientes por tiempo muerto. Esto es de aplicación especialmente a los medidores Geiger-Müller. En caso de dudas, es aconsejable realizar una segunda medición aumentando la distancia frotis/detector para verificar si la reducción en la tasa de cuentas es coherente con la reducción de la pérdida de eficiencia debida al cambio en la geometría frotis/detector.

4.3 Prueba de inmersión

4.3.1 Descripción general de la prueba

La prueba de inmersión consiste en sumergir la fuente radiactiva, por completo, durante un período de tiempo de al menos 4 horas, en un líquido apropiado, que, durante este tiempo, debe mantenerse a una temperatura de $(50 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Posteriormente, se determina la actividad del material radiactivo presente en una muestra del líquido.

4.3.2 Toma de la muestra

La superficie interior de los recipientes que se utilicen en esta prueba debe ser lisa, por ejemplo, de vidrio, y el recipiente debe ser lo suficientemente grande para contener la totalidad de la fuente.

El líquido se debe elegir de tal manera que no deteriore el material inactivo de la cápsula, o el material en el que está incorporada la sustancia radiactiva, y que, a su vez, sea capaz de disolver eficazmente la mayor parte del material radiactivo fugado o desprendido. En muchos casos resultan apropiados el agua destilada, una mezcla de alcohol y agua destilada al 50%, soluciones con detergentes o agentes capaces de combinarse con iones de metales pesados (quelantes).

Para evitar pérdidas de material radiactivo, por absorción del mismo en las paredes del recipiente, debe añadirse al líquido de prueba una cantidad suficiente de material portador inactivo (aproximadamente 100 mg por litro de líquido de prueba). Este material portador debe ser un compuesto inactivo, que contenga el mismo elemento químico que el radioisótopo encapsulado o un elemento químico similar al mismo, en forma fácilmente soluble. Debe evitarse la utilización de cloruros.

Una vez finalizada la extracción se debe retirar la fuente y proceder a su lavado y posterior secado.

En caso de que esté previsto repetir, una o varias veces, la misma prueba por inmersión, por ejemplo, para el caso de fuentes de muy baja actividad, es aconsejable utilizar un líquido de inmersión que haya sido específicamente recomendado por el fabricante de la fuente radiactiva para realizar este tipo de pruebas.

4.3.3 Medida de la muestra

Para la determinación de la actividad alfa o beta debe procederse, previamente, al secado de la muestra, por evaporación, en un portamuestras adecuado, ya que el secado de la muestra minimiza el efecto que causaría en el resultado la posible absorción de radiación por el líquido de inmersión (esto no se aplica cuando la medida de emisores alfa o beta se realice mediante contadores de centelleo líquido).

En el caso de emisores de radiación gamma suele ser suficiente con medir un volumen de unos pocos cm^3 .

La determinación cuantitativa de la actividad se realiza del mismo modo que en el caso de la prueba de frotis, según lo indicado en el apartado 4.2.3.

Para efectuar la medición de las muestras también es posible utilizar otros procedimientos como, por ejemplo, la medida directa de la actividad contenida en el líquido de prueba utilizando contadores de centelleo líquido.

4.4 Prueba de emanación gaseosa (para fuentes de radio-226)

4.4.1 Descripción general de la prueba

La prueba consiste en detectar la fuga de radón-222 a través de los poros o grietas del encapsulamiento de la fuente, ya que la emanación de este gas se producirá antes de que comience el escape de radio-226. Para ello se encierra la fuente encapsulada y un material adsorbente, rico en carbono, dentro de un recipiente cerrado. Y, después de unas horas de confinamiento, se mide la actividad del radón que ha sido adsorbida por el carbono. El valor obtenido se debe extrapolar a la actividad que resultaría tras un confinamiento de 12 horas.

4.4.2 Toma de muestra

Antes de proceder al confinamiento de la fuente, se debe limpiar la fuente con un disolvente apropiado para eliminar agentes extraños que puedan taponar los poros o grietas por donde pudiera producirse la emanación de radón. En caso de utilizar algodón para la limpieza de las fuentes radiactivas, debe tenerse la precaución de utilizar un algodón diferente para cada una de las fuentes, puesto que si una de ellas presentara fugas importantes, el resto podría llegar a contaminarse.

Una vez que se ha limpiado la fuente encapsulada, esta se introduce en el recipiente de confinamiento junto con carbón activo, polietileno o cualquier otra sustancia adsorbente apropiada.

Para el confinamiento se deben utilizar pequeños recipientes, como por ejemplo tubos de ensayo, de forma que se favorezca la retención del radón-222 por el material adsorbente y se facilite también la realización de las medidas cuantitativas posteriores. Tanto los recipientes, como sus cierres o tapones deben ser de un material impermeable al radón.

Para aquellas fuentes radiactivas que están alojadas en dispositivos y que son poco accesibles, puede utilizarse la propia carcasa del equipo como recipiente de confinamiento, siempre y cuando sea posible sellar las posibles aberturas. El confinamiento de la fuente, junto con el material adsorbente, en el interior de un plástico, no suele ser eficaz, dado que este tipo de materiales, en general, son permeables al radón.

El recipiente debe mantenerse sellado al menos durante tres horas. Una vez transcurrido este tiempo, se debe retirar la fuente encapsulada y cerrar inmediatamente el recipiente de confinamiento. Posteriormente, se procede a realizar la medida de la actividad de radón retenido en el recipiente.

4.4.3 Medida de la muestra

Al igual que en los métodos de prueba descritos anteriormente, y con el fin de identificar y separar aquellas fuentes que presentan fugas de material radiactivo, es fundamental la realización de una verificación cualitativa previa, utilizando a tal fin, por ejemplo, un detector capaz de medir la radiación β emitida por estas fuentes.

Para la determinación cuantitativa de la actividad referida en la muestra es recomendable la utilización del método de medida expuesto en el apartado 5.4.3. de la norma DIN 25426-4 [1]. Según esta norma, el método más apropiado para la determinación cuantitativa de la actividad se basa en la medición de la radiación gamma que emite la muestra, mediante una sonda de centelleo, para contrastar posteriormente la medida de la muestra problema frente a la de una muestra patrón de radio-226.

De acuerdo con los límites de fuga que se detallan en el apartado 5 de esta guía, se considera que las fuentes de radio-226 no han perdido su hermeticidad cuando el valor de actividad detectada no exceda de 185 Bq (5 nCi) de radón para un tiempo de confinamiento

de 12 horas. Para tiempos de confinamiento menores deben aplicarse las correcciones correspondientes.

De acuerdo con la norma DIN 25426-4 [1], para extrapolar la actividad de radón-222 a un tiempo de confinamiento de 12 horas, debe aplicarse la siguiente fórmula:

$$A_{12} = \frac{1}{\omega} \times \frac{n_K}{n_{Ra}} \times A_{Ra} \times f(t_E, t_W)$$

Siendo:

A_{12} : actividad de radón-222 liberada durante un confinamiento de 12 horas.

ω : grado de eficiencia de la muestra: que se refiere a la relación existente entre la emanación de radón-222 adsorbida por el carbono durante el tiempo de confinamiento, frente a la emanación real de radón-222 que se desprende de la fuente radiactiva durante ese mismo lapso de tiempo.

n_K y n_{Ra} : cps del carbono (n_K) y cps del patrón de radio (n_{Ra}).

A_{Ra} : actividad del patrón.

$f(t_E, t_W)$: factor de tiempo dependiente del tiempo de confinamiento (t_E) y del tiempo de espera (t_W). Entendiéndose por tiempo de confinamiento (t_E): el lapso de tiempo durante el cual se mantienen encerradas, dentro de un recipiente estanco, la fuente radiactiva encapsulada y el material adsorbente rico en carbono; y por tiempo de espera (t_W): el lapso de tiempo que transcurre desde la extracción de la fuente radiactiva del recipiente de confinamiento hasta el momento en el que se realiza la medida cuantitativa de la muestra.

Los valores para $f(t_E, t_W)$ se desprenden de las figuras 1 y 2 de la norma DIN 25426-4 [1].

El grado de eficiencia es distinto a 1 para recipientes de confinamiento grandes (con volúmenes superiores a aproximadamente 40 ml). Para las pastillas de carbono que se utilizan habitualmente (con 13 mm de diámetro y 5 mm de altura), el valor ω se deduce a partir de la figura 3 de la norma DIN 25426-4 [1].

4.5 Criterios para la elección del método de prueba

Para determinar el método de prueba más adecuado para realizar los ensayos de hermeticidad durante el uso o almacenamiento de las fuentes es muy importante considerar las condiciones propias de utilización de las fuentes y los riesgos específicos a los que están sometidas durante su vida útil.

Salvo para las fuentes de radio-226, en las que necesariamente se realizará la prueba de emanación gaseosa, para las restantes fuentes se recomienda, como norma general, la consideración de los siguientes criterios para seleccionar un método de prueba adecuado:

- Se elegirá la prueba de frotis directa sobre la superficie de la fuente cuando las fuentes encapsuladas solo puedan ser verificadas *in situ*, esto es, en el mismo lugar donde se utilizan, y siempre y cuando sea posible realizar un frotis sobre sus superficies más accesibles. En estos casos, también debe efectuarse una inspección visual previa de la fuente.
- Se realizará una prueba de frotis sobre una superficie de prueba equivalente cuando las fuentes solo puedan ser verificadas *in situ* y no sea posible o deseable acceder a las mismas, ya sea porque la fuente esté alojada dentro de un equipo o dispositivo, o porque sea conveniente evitar una exposición injustificada de la persona que lleva a cabo la prueba, como por ejemplo en el caso de las fuentes de teleterapia.
- Cuando las instalaciones dispongan de la posibilidad de realizar otro tipo de pruebas, por ejemplo las instalaciones hospitalarias con contadores de centelleo líquido o sólido, pueden ser más apropiados otros métodos de prueba como el de inmersión.

Para el caso concreto de las pruebas de hermeticidad que se realizan mediante frotis sobre superficies de prueba equivalentes, puede ser de utilidad considerar los siguientes criterios en la fase de toma de las muestras:

- Para la realización de pruebas de hermeticidad a fuentes radiactivas de níquel-63, alojadas en detectores de captura electrónica, que están contenidos en los cromatógrafos de gases, es aconsejable realizar varios frotis en aquellas zonas del equipo que son susceptibles de presentar contaminación, tales como la zona de conexión de la columna con el detector de captura, el cuerpo del detector de captura y la salida al exterior del cromatógrafo.
- La superficie equivalente de los equipos de gammagrafía industrial suele ser el conducto de entrada y salida de la fuente a su posición de anclaje y seguro.

- Para los equipos de teleterapia, las superficies equivalentes apropiadas son el colimador, el obturador (si existe) y el sistema óptico.
- Las fuentes electrodepositadas no se deben muestrear mediante un frotis directo sobre la superficie de las mismas, sino que debe realizarse sobre una superficie equivalente, como pueden ser su contenedor de almacenamiento o las penetraciones de salida de los equipos o dispositivos en los que estén alojadas.
- La toma de muestras sobre fuentes encapsuladas de alta actividad nunca debe realizarse por contacto directo con las fuentes, sino sobre aquellas superficies de prueba equivalentes que sean accesibles y que tengan una mayor probabilidad de contaminación.

5 Límites de fuga

Una fuente encapsulada se debe considerar como no estanca si se exceden los siguientes límites de fuga:

- En la prueba de frotis directa sobre la fuente y en la prueba de inmersión: 185 Bq (5 nCi).
- En la prueba de frotis sobre una superficie equivalente de prueba: 18,5 Bq (0,5 nCi).
- En la prueba de emanación gaseosa en fuentes de radio-226: 185 Bq (5 nCi) en 12 horas.

6 Certificado de hermeticidad

Una vez obtenidos los resultados de la prueba de hermeticidad, la entidad que la haya realizado debe emitir un certificado que informe sobre las propiedades de la fuente radiactiva, el método de muestreo y de medida aplicado, las conclusiones del estudio, y, en su caso, las acciones que debe llevar a cabo el propietario de la fuente.

A tal efecto, el Consejo de Seguridad Nuclear recomienda utilizar el modelo de certificado de hermeticidad que se incluye en esta guía como Anexo II.

El certificado debe contemplar, al menos, los siguientes aspectos:

- Nombre y dirección de la entidad que ha realizado la prueba de hermeticidad.

- Nombres de los técnicos que han realizado el ensayo, que han interpretado la medida, y que han supervisado el proceso.
- Nombre y dirección del usuario de la fuente encapsulada sometida a prueba.
- Identificación de la fuente encapsulada, indicando el radionucleido, la actividad nominal referida a una fecha (por ejemplo, a la fecha de fabricación o a la fecha de prueba), el tipo de emisión, su forma físico-química (por ejemplo: metálica, cerámica, vítrea, sal, gas...), el fabricante y la fecha de fabricación, así como el número de serie de la fuente y/o la marca, el modelo y el número de serie del equipo o dispositivo en el que se encuentra alojada.
- Tipo de prueba realizada, indicación de la superficie de prueba utilizada, resultados obtenidos en Bq (nCi), incertidumbres asociadas (eficiencia del muestreo o de la muestra, límites de detección, etc.) y fecha de realización.
- Equipos de medida utilizados, con indicación de marca, modelo, número de serie, fecha de la última calibración o verificación, y características de las fuentes de calibración o verificación utilizadas.
- Defectos visibles en la fuente (grietas, abolladuras, abrasiones, áreas corroídas, etc.), en el caso de que haya sido posible la inspección visual o, si procede, resultados de dicha inspección en el dispositivo donde esté alojada.
- Apartado de conclusiones con la valoración final y, en su caso, las recomendaciones para el usuario de la fuente. Si procede, también recomendaciones para variar la periodicidad de realización de las pruebas de hermeticidad.

7 Medidas a tomar en caso de falta de hermeticidad

Si se pone de manifiesto que una fuente radiactiva ha perdido su hermeticidad, la entidad que realiza la prueba debe informar al usuario de la misma, con el objetivo de que este lleve a cabo las acciones necesarias para que la fuente deteriorada sea retirada del uso, introducida en un contenedor hermético y almacenada en un lugar seguro, para prevenir así la dispersión de la contaminación. La fuente debe permanecer almacenada en esas condiciones durante el mínimo tiempo posible hasta el momento de su transferencia a la empresa suministradora o a Enresa (siempre y cuando la transferencia al proveedor no sea posible).

Si la magnitud de la fuga detectada es 100 veces superior a los límites indicados en el apartado 5, deben acotarse todas aquellas zonas, que estén próximas a la fuente o al equipo o dispositivo en el que esté alojada y en las que haya existido riesgo de contaminación, para comprobar posteriormente si la zona o el equipo están contaminados y proceder, en su caso, a la descontaminación que corresponda por personal cualificado.

En caso de detectar un nivel de actividad inferior a los límites de fuga, pero que no sea despreciable o atribuible a un error de medida, deben tomarse las acciones oportunas para intensificar el control sobre esa fuente, con el objetivo de determinar si efectivamente esta ha perdido su hermeticidad. Una posibilidad es repetir la prueba en un intervalo de tiempo corto, con el fin de determinar si la actividad de fuga ha aumentado.

Con independencia del resultado cuantitativo de la prueba de hermeticidad, cuando en la inspección visual se observen defectos que previsiblemente puedan derivar en fugas futuras, la entidad que ha realizado la prueba debe sugerir al usuario de la fuente que tome las acciones que se consideren oportunas para garantizar la seguridad, y que podrían incluir tanto el reemplazamiento de la fuente como su reparación, si procede. Esto es especialmente importante para las fuentes que se utilizan para el tratamiento de pacientes en instalaciones médicas o en el ámbito de la docencia (prácticas de laboratorio con fuentes radiactivas). En cualquier caso, cuando los defectos observados en la inspección visual hagan sospechar de la existencia real de riesgos potenciales de fuga, debe procederse según lo indicado en el párrafo anterior.

Por lo tanto, cualquier instalación usuaria de fuentes radiactivas encapsuladas debe disponer de un procedimiento para la descontaminación de zonas, así como de contenedores y de un recinto adecuado para el almacenamiento temporal de fuentes que no hayan superado las pruebas de hermeticidad.

Cuando mediante la prueba de inmersión se detecte contaminación en una fuente sellada y se tenga una sospecha fundada de que esta contaminación pueda deberse a otros contaminantes, ajenos al material radiactivo de la misma, es aconsejable descontaminar la fuente y almacenarla en un lugar libre de contaminación, para realizar una segunda prueba de hermeticidad una vez transcurridos aproximadamente siete días. Si como resultado de esta segunda prueba se detectara nuevamente contaminación superficial, deberá considerarse que la fuente ha perdido su hermeticidad.

Si se detectaran fugas en las fuentes sometidas a la prueba de emanación gaseosa, se recomienda que estas se almacenen en un lugar ventilado, a ser posible en vitrinas con ventilación forzada, y que se proceda a su retirada con la mayor premura posible.

Para el caso concreto de los equipos emisores de cobalto-60, con actividades del orden de los TBq, se ha comprobado que después de su fabricación, e incluso después de haber realizado una limpieza exhaustiva del equipo, puede existir una contaminación exterior de polvo de cobalto. Esta contaminación suele encontrarse tan fijada al equipo, que es poco habitual que en las primeras tomas de frotis se detecte una contaminación superior a 185 Bq. Sin embargo, la elevada radiación gamma existente en el entorno de la fuente provoca la generación de óxido nítrico y de ozono, y estos compuestos, con el paso del tiempo, conducen al deterioro de la superficie de encapsulamiento, de forma que en las pruebas de hermeticidad realizadas con posterioridad, podrían detectarse valores superiores a 185 Bq, o a 18,5 Bq si el frotis se ha realizado sobre una superficie de prueba equivalente. Por este motivo y para el caso concreto de estos equipos, ha de tenerse en cuenta que la detección de una actividad ligeramente superior a los límites de fuga establecidos no siempre supone la existencia de un riesgo significativo. Asimismo, sería interesante determinar, mediante espectrometría gamma, si el contaminante es realmente cobalto-60, puesto que también podría tratarse de uranio procedente de los colimadores o de los *trimmers*. Por lo tanto, y como norma general para estos casos, cuando se detecten niveles de contaminación ligeramente superiores a los límites de fuga establecidos, resulta más conveniente realizar comprobaciones periódicas de la hermeticidad, en intervalos de tiempo cada vez menores, de acuerdo con las condiciones de uso correspondientes, en lugar de proceder a la retirada de uso de la fuente y su transferencia a la empresa suministradora o a Enresa.

8 Requisitos aplicables a las entidades que efectúen pruebas de hermeticidad

El Consejo de Seguridad Nuclear estima necesario que toda entidad que efectúe pruebas de hermeticidad a fuentes radiactivas encapsuladas cumpla con los requisitos que se enumeran a continuación.

Concretamente, se recomienda que estas entidades:

- Establezcan un procedimiento técnico para el desarrollo de las pruebas de hermeticidad en el que se contemplen, entre otros, los métodos de prueba y de medida que utilizan, las acciones a tomar en caso de falta de hermeticidad, y las medidas de prevención de la contaminación y la irradiación que se deben considerar durante el desarrollo de las pruebas. En caso de que las pruebas se realicen sobre las superficies equivalentes de los equipos

o dispositivos en los que se alojan las fuentes (por ejemplo, para el caso de los irradiadores biológicos), el procedimiento debe detallar las superficies concretas a muestrear, incluyendo un esquema en el que se aprecie con claridad la posición de la fuente y todos los elementos de protección de la misma frente a agentes externos, así como los puntos de muestreo que se consideren adecuados para evitar perjuicios en la capacidad de función de la instalación o del equipo (por ejemplo, indicando las superficies de prueba equivalentes o el tipo de manipulación necesario).

- Dispongan de recursos humanos cualificados y con una formación apropiada en materia de protección radiológica. De este modo, resulta conveniente que los técnicos que realizan la inspección visual, la toma de la muestra y la medida de la misma dispongan, según sea el caso, de la correspondiente licencia de operación o supervisión de instalación radiactiva o del certificado como técnicos expertos en protección radiológica. Asimismo, es aconsejable que la persona responsable de la revisión de los resultados, de la firma de los certificados de hermeticidad resultantes, de la supervisión del proceso de realización de la prueba y de la vigilancia del cumplimiento de las medidas de seguridad y protección radiológica reglamentarias, disponga, al menos, de una licencia que lo acredite como supervisor de instalación radiactiva o como jefe de protección radiológica.
- Dispongan de los medios materiales apropiados para el desarrollo de las pruebas de hermeticidad, tales como contadores, disolventes, pinzas, toallitas, elementos de protección personal, etc. Los equipos que se utilicen para la medida de la radiación o de la contaminación deben ser calibrados o verificados periódicamente, de acuerdo con el procedimiento para la calibración y/o verificación de equipos de medida establecido por cada entidad.
- Mantengan un registro de las pruebas de hermeticidad realizadas y de los resultados obtenidos, e informen de los mismos al Consejo de Seguridad Nuclear a través de los informes anuales correspondientes.
- Elaboren, como resultado de cada una de las pruebas de hermeticidad que efectúen, además de los certificados de hermeticidad correspondientes, un informe técnico en el que se detalle, al menos y para cada prueba realizada, el procedimiento de muestreo y de medida que se ha seguido, los puntos donde se han tomado las muestras, el grado de apertura o cierre del colimador (si procede), las medidas de niveles de radiación realizadas, el equipamiento empleado, las características técnicas del equipamiento de medida (eficiencia de la detección y actividad mínima detectable para el tipo de energía de la radiación potencial del frotis analizado), y las medidas de protección radiológica adoptadas.

- Desarrollen una sistemática de trabajo sometida y soportada por pruebas de control de calidad que garanticen la fiabilidad de los métodos de prueba empleados y de las mediciones realizadas.
- Tengan información suficiente sobre el lugar donde están instaladas o almacenadas las fuentes radiactivas encapsuladas sobre las que realizan los ensayos de hermeticidad, así como conocer la utilización concreta de cada fuente y las cargas máximas a las que están sometidas de forma habitual (mecánicas, térmicas y químicas).
- Definan el procedimiento previsto para la limpieza, desinfección y esterilización, en caso de realizar ensayos sobre fuentes aplicables a pacientes.

Para aquellas entidades que no sean poseedoras de fuentes radiactivas encapsuladas, pero que vayan prestar este servicio a terceros, el Consejo de Seguridad Nuclear recomienda que dispongan de un procedimiento técnico genérico para la realización de las pruebas de hermeticidad. No obstante, se considera asimismo necesario que en los informes técnicos resultantes de cada una de las pruebas que realicen, detallen los métodos concretos aplicados tanto para el desarrollo de la prueba, como para prevenir posibles riesgos de irradiación o contaminación.

9 Referencias bibliográficas

1. DIN 25426-4: 1995-04 «Umschlossene radiaktive Stoffe Teil 4: Dichtheitsprüfung während des Umgangs (Sealed radioactive sources – Part 4: Leakage test methods for recurrent inspections)»; abril de 1995.
2. DIN 25426-3 «Umschlossene radiaktive Stoffe. Dichtheitsprüfung im Zusammenhang mit Herstellung und Bauartprüfung (Sealed radioactive sources: leakage test methods as part of production and prototype testing)»; enero 1991.
3. ISO 9978:1992 Radiation Protection –Sealed Radioactive Sources– Leakage Test Methods.
4. 10 CFR 39.35 «Leak testing of sealed sources».
5. 10 CFR 34.27 «Leak testing and replacement of sealed sources».

6. 10 CFR 31.5 «Certain detecting, measuring, gauging, or controlling devices and certain devices for producing light or an ionized atmosphere».
7. DOE G 441.1-13 (formerly G-N 5400.9/M1), 04-15-99, «Sealed Radioactive Source Accountability and Control Guide *for use with* Title 10, Code of Federal Regulations, Part 835, Occupational Radiation Protection».
8. Department of Health (UK) «Leak Tests», September 2001.
9. ANSI N44.2-1973 «American National Standard for leak-testing radioactive brachytherapy sources».
10. M 61-003, Octobre 1972, «Méthodes d'Essais d'Étanchéité des Sources Scellées Radioactives».
11. British Standards Institution, BS 5288:1976, «Sealed radioactive sources».
12. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Regulatory Research, Draft Regulatory Guide DG-6005 «Verification of Containment Properties of Sealed Radioactive Sources», December 2007.
13. Radiation Health Unit, Department of Health, Hong Kong Special Administrative Region, China, «Guidance Notes on the Storage of and Accounting for radioactive Sources», June 2008.
14. Norma Oficial Mexicana NOM-002-NUCL-2004, «Pruebas de fuga y hermeticidad de fuentes selladas».
15. Vorschriftensammlung der Staatlichen Gewerbeaufsicht Baden-Württemberg, «Richtlinie über Dichtheitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen», Version 02/2004.
16. Australian Radiation Protection and Nuclear safety Agency, «REGULATORY GUIDE: Use of sealed sources beyond their recommended working life», September 2009.
17. Atomic Energy Control Board, Canada, Regulatory Document «Requirements for Leak Testing Selected Sealed Radiation Sources», January 1995.
18. Real Decreto 229/2006 sobre el control de fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad y fuentes huérfanas.

19. Instrucción IS-28, del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre las especificaciones de funcionamiento de instalaciones radiactivas.
20. «Protocolo para la calibración y el uso de activímetros», Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes, Sociedad Española de Física Médica, Sociedad Española de Medicina Nuclear, Sociedad Española de Protección Radiológica, Sociedad Española de Radiofarmacia.
21. ISO 7503:1988 «Evaluation of surface contamination».
22. ISO 11929:2010 (E), «Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the confidence interval) for measurements of ionizing radiation – Fundamentals and application».

Anexo I Equipos de medida

1 Características básicas de los equipos de medida

Los instrumentos de medida se deben seleccionar en función del tipo de emisión radiactiva principal (α , β^- , β^+ , γ , n, X), del rango energético de emisión de las partículas y del rango energético que el instrumento de medida es capaz de detectar.

Los instrumentos de medida deben tener una sensibilidad mínima de detección adecuada a las medidas que se pretenden realizar, y acordes a los límites de fuga descritos en el apartado 5 de esta guía de Seguridad. La actividad de material fugado debe calcularse con un nivel de confianza del 95% teniendo en cuenta las incertidumbres combinadas resultantes en la actividad medida.

La electrónica del equipo debe ser de alta estabilidad y bajo ruido y el manual de operación del equipo debe estar disponible, puesto que contiene las indicaciones sobre la eficiencia del detector y los factores de conversión. La eficiencia del detector también se puede determinar utilizando una fuente de verificación estándar, de actividad conocida. En todo caso, debe conocerse perfectamente la respuesta del equipo a radiaciones de distintas energías (curva de eficiencia de detección para distintas energías).

Para la calibración de los equipos deben utilizarse fuentes patrón con energías de emisión que cubran el intervalo de energía de interés, y cuya geometría y características físicas sean semejantes a las de la muestra que se analiza. Se debe disponer de los procedimientos correspondientes para la calibración en energía y en eficiencia.

2 Detectores más adecuados en función del tipo de radiación

Para la detección de radiación alfa se utilizan el sulfuro de zinc activado con plata como sustancia de centelleo, contadores proporcionales de ventana fina o detectores de semiconducción. Pueden utilizarse equipos Geiger-Müller con ventana muy fina, pero su eficiencia de detección suele ser bastante baja y la presencia de radiación beta o gamma puede interferir en el resultado. Asimismo, podrían utilizarse contadores de centelleo líquido.

Para la detección de radiación beta, en un rango muy amplio de energías, se utilizan tubos Geiger-Müller de ventana muy fina (2 mg/cm^2 de densidad superficial de ventana), contadores proporcionales o sustancias orgánicas de centelleo. La radiación gamma interfiere con

todos los detectores beta, aunque con eficiencias de detección muy bajas. La radiación alfa puede llegar a interferir al utilizar tubos Geiger de ventana fina.

Para medir la radiación gamma son apropiados los detectores de centelleo de yoduro sódico activado con talio, detectores de germanio, también otros equipos de medida (proporcionales, centelleo, etc.).

Como ayuda para la selección del equipo de medida adecuado para uno o varios radionucleidos concretos se remite a la ISO 7503, partes 1, 2 y 3, «Evaluation of surface contamination».

3 Interpretación de los resultados de la medida

Es fundamental conocer el factor de calibración y los factores de corrección que hay que aplicar a la lectura del instrumento para obtener el valor de contaminación. Estos factores dependen de:

- a) La geometría del conjunto muestra-detector.
- b) Las características del sistema de detección y medida.
- c) El tipo y energía de la radiación que se mide: eficiencia del detector de radiación para esa energía.
- d) La autoabsorción de la muestra.
- e) Eficiencia del muestreo.

Este factor de calibración se puede conocer:

- a) Realizando, de forma previa a la medida de la muestra, una medida de una fuente patrón del mismo radioisótopo y de actividad próxima a los límites de fuga (apartado 5), en unas condiciones de medida lo más similares posibles a las de la medida de la muestra.
- b) A partir de la curva de respuesta del sistema de detección y medida para varios radioisótopos, en un amplio rango de energías, en las condiciones más parecidas posibles a las de la medida de la muestra. En este caso, será preciso comprobar periódicamente que se mantienen los puntos de la curva de respuesta.

El proceso de medida general de la actividad de una muestra problema consta de los siguientes pasos:

1. Colocación de la muestra en la posición de medida.

2. Medida del valor de actividad indicado por el equipo de medida.
3. Corrección del resultado por el fondo radiactivo.
4. Corrección del valor neto por el factor de calibración.
5. Corrección por el factor de geometría cuando la geometría de la medida no sea la definida como «geometría de referencia» en el proceso de calibración.
6. Cálculo de la incertidumbre del resultado.

En el procedimiento de medida es necesario definir un criterio de cálculo de límite de detección que incluya todas las incertidumbres a tener en cuenta, tales como: tiempo de medida, valores de fondo y eficiencia del equipo. También, es relevante en este cálculo el valor considerado de la fracción de contaminación que puede ser recogida (eficiencia de arrastre). Como ayuda para la determinación del límite de detección del procedimiento de medida se remite a la ISO 11929:2010 (E), «Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the confidence interval) for measurements of ionizing radiation – Fundamentals and application».

Certificado de hermeticidad

Entidad que ha realizado la prueba

Nombre / Referencia:
 Dirección:
 Nombre del técnico encargado del ensayo:

Entidad usuaria de la fuente radiactiva sometida a prueba

Nombre / Referencia:
 Dirección:

Identificación de la fuente radiactiva encapsulada

Radionucleido:
 Actividad nominal: Fecha de referencia:
 Tipo de emisión:
 Forma físico-química:
 Fabricante: Fecha de fabricación:
 Número de serie de la fuente:
 Descripción del equipo en el que está alojada (cuando proceda):
 Marca:
 Modelo:
 Número de serie:

Prueba realizada

Tipo de prueba: (frotis, inmersión, emanación gaseosa, etc.)
 Fecha de toma de muestra:
 Fecha de medición:
 Superficie de prueba: (directa o equivalente)
 Actividad medida: (en Bq o nCi)
 Incertidumbres asociadas a la medida:

Equipos de medida utilizados

Marca:
 Modelo:
 Número de serie:
 Fecha de última calibración/verificación: Fuentes de calibración utilizadas:

Inspección visual

Defectos observados: (ninguno, grietas, abolladuras, abrasiones, etc.)

Valoración final

Breve descripción de las conclusiones obtenidas,
 valoración final y recomendaciones (si proceden)

Realizado:

(nombre, firma y cargo
 de las personas que han
 realizado la prueba)

Certificado:

(nombre, firma y cargo
 de la persona que ha su-
 pervisado la prueba y
 emite el certificado)

Colección guías de Seguridad

1. Reactores de potencia y centrales nucleares

1.1 Cualificaciones para la obtención y uso de licencias de personal de operación en centrales nucleares.

CSN, 1986 (16 págs.) Referencia: GSG-01.01.

1.2 Modelo dosimétrico en emergencia nuclear.

CSN, 1990 (24 págs.) Referencia: GSG-01.02.

1.3 Plan de Emergencia en centrales nucleares.

CSN, 1987 (Rev. 1, 2007), (32 págs.) Referencia: GSG-01.03.

1.4 Control y vigilancia radiológica de efluentes radiactivos líquidos y gaseosos emitidos por centrales nucleares.

CSN, 1988 (16 págs.) Referencia: GSG-01.04.

1.5 Documentación sobre actividades de recarga en centrales nucleares de agua ligera.

CSN, 1990 (Rev. 1, 2004), (48 págs.) Referencia: GSG-01.05.

1.6 Sucesos notificables en centrales nucleares en explotación.

CSN, 1990 (24 págs.) Referencia: GSG-01.06.

1.7 Información a remitir al CSN por los titulares sobre la explotación de las centrales nucleares.

CSN, 1997 (Rev. 1, 2003), (64 págs.) Referencia: GSG-01.07.

1.9 Simulacros y ejercicios de emergencia en centrales nucleares.

CSN, 1996 (Rev. 1, 2006), (20 págs.) Referencia: GSG-01.09.

1.10 Revisiones periódicas de la seguridad de las centrales nucleares.

CSN, 1996 (Rev. 1, 2008), (24 págs.) Referencia: GSG-01.10.

1.11 Modificaciones de diseño en centrales nucleares.

CSN, 2002 (48 págs.) Referencia: GSG-01.11.

1.12 Aplicación práctica de la optimización de la protección radiológica en la explotación de las centrales nucleares.

CSN, 1999 (32 págs.) Referencia: GSG-01.12.

1.13 Contenido de los reglamentos de funcionamiento de las centrales nucleares.

CSN, 2000 (20 págs.) Referencia: GSG-01.13.

1.14 Criterios para la realización de aplicaciones de los Análisis Probabilistas de Seguridad.

CSN, 2001 (Rev. 1, 2007), (32 págs.) Referencia: GSG-01.14.

1.15 Actualización y mantenimiento de los Análisis Probabilistas de Seguridad.

CSN, 2004 (38 págs.) Referencia: GSG-01.15.

1.16 Pruebas periódicas de los sistemas de ventilación y aire acondicionado en centrales nucleares.

CSN, 2007 (24 págs.) Referencia: GSG-01.16.

1.17 Aplicación de técnicas informadas por el riesgo a la inspección en servicio (ISI) de tuberías.

CSN, 2007 (36 págs.) Referencia: GSG-01.17.

1.18 Medida de la eficacia del mantenimiento en centrales nucleares.

CSN, 2008 (76 págs.) Referencia: GSG-01.18.

1.19 Requisitos del programa de protección contra incendios en centrales nucleares.

CSN, 2011 (96 págs.) Referencia: GSG-01.19.

2. Reactores de investigación y conjuntos subcríticos

3. Instalaciones del ciclo del combustible

3.1 Modificaciones en instalaciones de fabricación de combustible nuclear.
CSN, 2012 (32 págs.) Referencia: GSG-03-01.

4. Vigilancia radiológica ambiental

4.1 Diseño y desarrollo del Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental para centrales nucleares.
CSN, 1993 (24 págs.) Referencia: GSG-04.01.

4.2 Plan de Restauración del Emplazamiento.
CSN, 2007 (30 págs.) Referencia: GSG-04.02.

5. Instalaciones y aparatos radiactivos

5.1 Documentación técnica para solicitar la autorización de funcionamiento de las instalaciones radiactivas de manipulación y almacenamiento de radionucleidos no encapsulados (2ª y 3ª categoría).
CSN, 1986 (Rev. 1, 2005), (32 págs.) Referencia: GSG-05.01.

5.2 Documentación técnica para solicitar autorización de las instalaciones de manipulación y almacenamiento de fuentes encapsuladas (2ª y 3ª categoría).
CSN, 1986 (Rev. 1, 2005), (28 págs.) Referencia: GSG-05.02.

5.3 Control de la hermeticidad de fuentes radiactivas encapsuladas.
CSN, 1987 (Rev. 1, 2013), (40 págs.) Referencia: GSG-05.03.

5.5 Documentación técnica para solicitar autorización de construcción y puesta en marcha de las instalaciones de radioterapia.
CSN, 1988 (28 págs.) Referencia: GSG-05.05.

5.6 Cualificaciones para la obtención y uso de licencias de personal de operación de instalaciones radiactivas.
CSN, 1988 (20 págs.) Referencia: GSG-05.06.

5.7 Documentación técnica necesaria para solicitar autorización de puesta en marcha de las instalaciones de rayos X para radiodiagnóstico.
Anulada⁽¹⁾.

5.8 Bases para elaborar la información relativa a la explotación de instalaciones radiactivas.
CSN, 1988 (12 págs.) Referencia: GSG-05.08.

5.9 Documentación para solicitar la autorización e inscripción de empresas de venta y asistencia técnica de equipos de rayos X.
CSN, 1998 (20 págs.) Referencia: GSG-05.09.

5.10 Documentación técnica para solicitar autorización de instalaciones de rayos X con fines industriales.
CSN, 1988 (Rev. 1, 2005), (24 págs.) Referencia: GSG-05.10.

5.11 Aspectos técnicos de seguridad y protección radiológica de instalaciones médicas de rayos X para diagnóstico.
CSN, 1990 (28 págs.) Referencia: GSG-05.11.

⁽¹⁾ Esta guía ha quedado sin validez al entrar en vigor el Real Decreto 1891/1991.

- 5.12 Homologación de cursos de formación de supervisores y operadores de instalaciones radiactivas. CSN, 1998 (60 págs.) Referencia: GSG-05.12.
- 5.14 Seguridad y protección radiológica de las instalaciones radiactivas de gammagrafía industrial. CSN, 1998 (60 págs.) Referencia: GSG-05.14.
- 5.15 Documentación técnica para solicitar aprobación de tipo de aparato radiactivo. CSN, 2001 (28 págs.) Referencia: GSG-05.15.
- 5.16 Documentación técnica para solicitar autorización de funcionamiento de las instalaciones radiactivas constituidas por equipos para el control de procesos industriales. CSN, 2001 (32 págs.) Referencia: GSG-05.16.

6. Transporte de materiales radiactivos

- 6.1 Garantía de calidad en el transporte de sustancias radiactivas. CSN, 2002 (32 págs.) Referencia: GSG-06.01.
- 6.2 Programa de protección radiológica aplicable al transporte de materiales radiactivos. CSN, 2002 (54 págs.) Referencia: GSG-06.02.
- 6.3 Instrucciones escritas de emergencia aplicables al transporte de materiales radiactivos por carretera. CSN, 2004 (Rev.1, 2012), (32 págs.) Referencia: GSG-06.03.
- 6.4 Documentación para solicitar autorizaciones en el transporte de material radiactivo: aprobaciones de bultos y autorización de expediciones de transporte. CSN, 2006 (36 págs.) Referencia: GSG-06.04.
- 6.5 guía de ayuda para la aplicación de los requisitos reglamentarios sobre transporte de material radiactivo. CSN, 2011 (220 págs.) Referencia: GSG-06.05.

7. Protección radiológica

- 7.1 Requisitos técnico-administrativos para los servicios de dosimetría personal. CSN, 1985 (Rev.1, 2006), (54 págs.) Referencia: GSG-07.01.
- 7.2 Cualificaciones para obtener el reconocimiento de experto en protección contra las radiaciones ionizantes para responsabilizarse del correspondiente servicio o unidad técnica. Anulada⁽²⁾.
- 7.3 Bases para el establecimiento de los servicios o unidades técnicas de protección radiológica. CSN, 1987 (Rev. 1, 1998), (36 págs.) Referencia: GSG-07.03.
- 7.4 Bases para la vigilancia médica de los trabajadores expuestos a las radiaciones ionizantes. Anulada⁽³⁾.
- 7.5 Actuaciones a seguir en caso de personas que hayan sufrido un accidente radiológico. CSN, 1989 (Rev. 1, 2005), (50 págs.) Referencia: GSG-07.05.

⁽²⁾ Esta guía ha sido anulada, sustituyéndose por la Instrucción del CSN IS-03 (BOE 12-12-2002).

⁽³⁾ Esta guía ha quedado anulada tras la aprobación, por el Ministerio de Sanidad y Consumo, de un protocolo para la vigilancia médica de los trabajadores profesionalmente expuestos.

7.6 Contenido de los manuales de protección radiológica de instalaciones nucleares e instalaciones radiactivas del ciclo del combustible nuclear.

CSN, 1992 (16 págs.) Referencia: GSG-07.06.

7.7 Control radiológico del agua de bebida.

Anulada⁽⁴⁾.

7.9 Manual de cálculo de dosis en el exterior de las instalaciones nucleares.

CSN, 2006 (36 págs.) Referencia: GSG-07.09.

7.10 Plan de Emergencia Interior en instalaciones radiactivas.

CSN, 2009 (24 págs.) Referencia: GSG-07.10.

8. Protección física

8.1 Protección física de los materiales nucleares en instalaciones nucleares y en instalaciones radiactivas.

CSN, 2000 (32 págs.) Referencia: GSG-08.01.

8.2 Elaboración, contenido y formato de los planes de protección física de las instalaciones y los materiales nucleares.

CSN, 2012 (40 págs.) Referencia: GSG-08.02.

9. Gestión de residuos

9.1 Control del proceso de solidificación de residuos radiactivos de media y baja actividad.

CSN, 1991 (16 págs.) Referencia: GSG-09.01.

9.2 Gestión de materiales residuales sólidos con contenido radiactivo generados en instalaciones radiactivas.

CSN, 2001 (28 págs.) Referencia: GSG-09.02.

9.3 Contenido y criterios para la elaboración de los planes de gestión de residuos radiactivos de las instalaciones nucleares.

CSN, 2008 (44 págs.) Referencia: GSG-09.03.

9.4 Evaluación de seguridad a largo plazo de los almacenamientos superficiales definitivos de residuos radiactivos de media y baja actividad.

CSN, 2013 (32 págs.) Referencia: GSG-09.04.

10. Varios

10.1 guía básica de garantía de calidad para instalaciones nucleares.

CSN, 1985 (Rev. 2, 1999), (16 págs.) Referencia: GSG-10.01.

10.2 Sistema de documentación sometida a programas de garantía de calidad en instalaciones nucleares.

CSN, 1986 (Rev. 1, 2002), (20 págs.) Referencia: GSG-10.02.

10.3 Auditorías de garantía de calidad.

CSN, 1986 (Rev. 1, 2001), (24 págs.) Referencia: GSG-10.03.

⁽⁴⁾ Anulada por decisión del pleno del CSN.

- 10.4 Garantía de calidad para la puesta en servicio de instalaciones nucleares.
CSN, 1987 (8 págs.) Referencia: GSG-10.04.
- 10.5 Garantía de calidad de procesos, pruebas e inspecciones de instalaciones nucleares.
CSN, 1987 (Rev. 1, 1999), (24 págs.) Referencia: GSG-10.05.
- 10.6 Garantía de calidad en el diseño de instalaciones nucleares.
CSN, 1987 (Rev. 1, 2002), (16 págs.) Referencia: GSG-10.06.
- 10.7 Garantía de calidad en instalaciones nucleares en explotación.
CSN, 1988 (Rev. 1, 2000), (20 págs.) Referencia: GSG-10.07.
- 10.8 Garantía de calidad para la gestión de elementos y servicios para instalaciones nucleares.
CSN, 1988 (Rev. 1, 2001), (24 págs.) Referencia: GSG-10.08.
- 10.9 Garantía de calidad de las aplicaciones informáticas relacionadas con la seguridad de las instalaciones nucleares.
CSN, 1998 (20 págs.) Referencia: GSG-10.09.
- 10.10 Cualificación y certificación de personal que realiza ensayos no destructivos.
CSN, 2000 (20 págs.) Referencia: GSG: 10.10.
- 10.11 Garantía de calidad en instalaciones radiactivas de primera categoría.
CSN, 2000 (16 págs.) Referencia: GSG-10.11.
- 10.12 Control radiológico de actividades de recuperación y reciclado de chatarras.
CSN, 2003 (36 págs.) Referencia: GSG-10.12.
- 10.13 Garantía de calidad para el desmantelamiento y clausura de instalaciones nucleares.
CSN, 2003 (28 págs.) Referencia: GSG-10.13.

11. Radiación Natural

- 11.1 Directrices sobre la competencia de los laboratorios y servicios de medida de radón en aire.
CSN, 2010 (32 págs.) Referencia: GSG-11.01.
- 11.2 Control de la exposición a fuentes naturales de radiación.
CSN, 2012 (24 págs.) Referencia: GSG-11.02.
- 11.3 Metodología para evaluación del impacto radiológico de las industrias NORM.
CSN, 2012 (42 págs.) Referencia: GSG-11.03.
- 11.4 Metodología para la evaluación de la exposición al radón en los lugares de trabajo.
CSN, 2012 (32 págs.) Referencia: GSG-11.04.

Las guías de seguridad contienen los métodos recomendados por el CSN, desde el punto de vista de la seguridad nuclear y protección radiológica, y su finalidad es orientar y facilitar a los usuarios la aplicación de la reglamentación nuclear española. Estas guías no son de obligado cumplimiento, pudiendo el usuario seguir métodos y soluciones diferentes a los contenidos en las mismas, siempre que estén debidamente justificados.

Los comentarios y sugerencias que puedan mejorar el contenido de estas guías se considerarán en las revisiones sucesivas.

La correspondencia debe dirigirse a la Subdirección de Asesoría Jurídica y los pedidos al Servicio de Publicaciones. Consejo de Seguridad Nuclear, C/ Pedro Justo Dorado Dellmans, 11, 28040-Madrid.

Guía de Seguridad 5.3 (Rev. 1)

Control de la hermeticidad de fuentes radiactivas encapsuladas

Colección Guías de
Seguridad del CSN

GS.5.3-2013