

Identificación de fuentes y dispositivos radiactivos



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

IDENTIFICACIÓN DE
FUENTES Y DISPOSITIVOS RADIACTIVOS

MANUAL DE REFERENCIA

Los siguientes Estados son Miembros del Organismo Internacional de Energía Atómica:

AFGANISTÁN, REPÚBLICA ISLÁMICA DEL	FILIPINAS	NÍGER
ALBANIA	FINLANDIA	NIGERIA
ALEMANIA	FRANCIA	NORUEGA
ANGOLA	GABÓN	NUEVA ZELANDIA
ARABIA SAUDITA	GEORGIA	OMÁN
ARGELIA	GHANA	PAÍSES BAJOS
ARGENTINA	GRECIA	PAKISTÁN
ARMENIA	GUATEMALA	PALAU
AUSTRALIA	HAITÍ	PANAMÁ
AUSTRIA	HONDURAS	PARAGUAY
AZERBAIYÁN	HUNGRÍA	PERÚ
BANGLADESH	INDIA	POLONIA
BELARÚS	INDONESIA	PORTUGAL
BÉLGICA	IRÁN, REPÚBLICA ISLÁMICA DEL	QATAR
BELICE	IRAQ	REINO UNIDO DE GRAN BRETAÑA E IRLANDA DEL NORTE
BENIN	IRLANDA	REPÚBLICA ÁRABE SIRIA
BOLIVIA	ISLANDIA	REPÚBLICA
BOSNIA Y HERZEGOVINA	ISLAS MARSHALL	CENTROAFRICANA
BOTSWANA	ISRAEL	REPÚBLICA CHECA
BRASIL	ITALIA	REPÚBLICA DE MOLDOVA
BULGARIA	JAMAHIRIYA ÁRABE LIBIA	REPÚBLICA DEMOCRÁTICA DEL CONGO
BURKINA FASO	JAMAICA	REPÚBLICA DOMINICANA
CAMERÚN	JAPÓN	REPÚBLICA UNIDA DE TANZANÍA
CANADÁ	JORDANIA	RUMANIA
CHAD	KAZAJSTÁN	SANTA SEDE
CHILE	KENYA	SENEGAL
CHINA	KIRGUISTÁN	SERBIA
CHIPRE	KUWAIT	SEYCHELLES
COLOMBIA	LETONIA	SIERRA LEONA
COREA, REPÚBLICA DE	LÍBANO	SINGAPUR
COSTA RICA	LIBERIA	SRI LANKA
CÔTE D'IVOIRE	LIECHTENSTEIN	SUDÁFRICA
CROACIA	LITUANIA	SUDÁN
CUBA	LUXEMBURGO	SUECIA
DINAMARCA	MADAGASCAR	SUIZA
ECUADOR	MALASIA	TAILANDIA
EGIPTO	MALAWI	TAYIKISTÁN
EL SALVADOR	MALÍ	TÚNEZ
EMIRATOS ÁRABES UNIDOS	MALTA	TURQUÍA
ERITREA	MARRUECOS	UCRANIA
ESLOVAQUIA	MAURICIO	UGANDA
ESLOVENIA	MAURITANIA, REPÚBLICA ISLÁMICA DE	URUGUAY
ESPAÑA	MÉXICO	UZBEKISTÁN
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	MÓNACO	VENEZUELA, REPÚBLICA BOLIVARIANA DE
ESTONIA	MONGOLIA	VIET NAM
ETIOPÍA	MONTENEGRO	YEMEN
EX REPÚBLICA YUGOSLAVA DE MACEDONIA	MOZAMBIQUE	ZAMBIA
FEDERACIÓN DE RUSIA	MYANMAR	ZIMBABWE
	NAMIBIA	
	NEPAL	
	NICARAGUA	

El Estatuto del Organismo fue aprobado el 23 de octubre de 1956 en la Conferencia sobre el Estatuto del OIEA celebrada en la Sede de las Naciones Unidas (Nueva York); entró en vigor el 29 de julio de 1957. El Organismo tiene la Sede en Viena. Su principal objetivo es “acelerar y aumentar la contribución de la energía atómica a la paz, la salud y la prosperidad en el mundo entero”.

COLECCIÓN DE SEGURIDAD FÍSICA NUCLEAR DEL
OIEA Nº 5
ORIENTACIÓN TÉCNICA

IDENTIFICACIÓN DE FUENTES Y DISPOSITIVOS RADIATIVOS

MANUAL DE REFERENCIA

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA
VIENA, 2009

DERECHOS DE AUTOR

Todas las publicaciones científicas y técnicas del OIEA están protegidas en virtud de la Convención Universal sobre Derecho de Autor aprobada en 1952 (Berna) y revisada en 1972 (París). Desde entonces, la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (Ginebra) ha ampliado la cobertura de los derechos de autor que ahora incluyen la propiedad intelectual de obras electrónicas y virtuales. Para la utilización de textos completos, o parte de ellos, que figuren en publicaciones del OIEA, impresas o en formato electrónico, deberá obtenerse la correspondiente autorización, y por lo general dicha utilización estará sujeta a un acuerdo de pago de regalías. Se aceptan propuestas relativas a reproducción y traducción sin fines comerciales, que se examinarán individualmente. Las solicitudes de información deben dirigirse a la Sección Editorial del OIEA:

Dependencia de Promoción y Venta de Publicaciones
Sección Editorial
Organismo Internacional de Energía Atómica
Wagramer Strasse 5
P.O. Box 100
1400 Viena (Austria)
fax: +43 1 2600 29302
tel.: +43 1 2600 22417
correo-e: sales.publications@iaea.org
<http://www.iaea.org/books>

© OIEA, 2009

Impreso por el OIEA en Austria
Marzo de 2009

**IDENTIFICACIÓN DE FUENTES
Y DISPOSITIVOS RADIATIVOS**

OIEA, VIENA, 2009
STI/PUB/1278
ISBN 978-92-0-300209-7
ISSN 1816-9317

PRÓLOGO

En respuesta a una resolución de la Conferencia General del OIEA aprobada en septiembre de 2002, el OIEA ha adoptado un enfoque integrado para la protección contra el terrorismo nuclear. Mediante este enfoque se coordinan las actividades del OIEA relacionadas con la protección física de los materiales y las instalaciones nucleares, la contabilidad de materiales nucleares, la detección y respuesta asociadas al tráfico de materiales nucleares y otros materiales radiactivos, la seguridad física de las fuentes radiactivas, la seguridad física del transporte de materiales nucleares y otros materiales radiactivos, la respuesta ante emergencias y las medidas de preparación para emergencias en los Estados Miembros y en el OIEA, y la promoción de la adhesión de los Estados a los instrumentos internacionales pertinentes. El OIEA también ayuda a determinar las amenazas y vulnerabilidades relacionadas con la seguridad física de los materiales nucleares y otros materiales radiactivos. Con todo, incumbe a los Estados la responsabilidad de prever lo necesario para la protección física de los materiales nucleares y otros materiales radiactivos y las instalaciones conexas, con el fin de garantizar la seguridad física de esos materiales en el transporte y de combatir el tráfico ilícito y el desplazamiento accidental de materiales radiactivos.

A principios de la era nuclear, la radiación para la investigación y aplicación provenía de materiales radiactivos naturales. El radio y las mezclas de radio y berilio, encapsuladas para su manipulación segura y fácil, proporcionaron fuentes para rayos gamma y neutrones. Esas fuentes tenían numerosas aplicaciones generalizadas y su empleo creció con rapidez. Los procedimientos de control mejoraron gradualmente, pero la protección física siguió siendo deficiente, y la información sobre los inventarios era irregular e incompleta. El desarrollo ulterior de los reactores nucleares originó fuentes más potentes, una mayor diversidad de fuentes y aplicaciones, y un aumento general de su uso.

El uso más difundido, lamentablemente, se vio acompañado de varios accidentes, lesiones y muertes. Esta tendencia, y un accidente particularmente grave en 1987, indujeron al OIEA a poner en marcha un programa destinado a suministrar información y, en el caso de las fuentes de radio, prestar asistencia directa para el control y acondicionamiento de las fuentes.

Desde 1999, el OIEA ha venido aplicando el Plan de Acción relativo a la seguridad tecnológica de las fuentes de radiación y a la seguridad física de los materiales radiactivos. Ello ha llevado a la adopción del Código de Conducta sobre la seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas encaminado a reducir el peligro de que fuentes radiactivas utilizadas legítimamente se desvíen o se obtengan indebidamente con fines dolosos y a fomentar la utilización y el control seguros de las fuentes destinadas a usos legítimos. El OIEA presta

asistencia a sus Estados Miembros en la aplicación del código de conducta, junto con otras iniciativas, como el establecimiento de la base de datos sobre tráfico ilícito (ITDB), la asistencia para la gestión del ciclo de vida de las fuentes radiactivas, la promoción de prácticas de trabajo seguras, y el aumento de la seguridad física durante el uso, el transporte y el almacenamiento.

En aras de fomentar los progresos, el OIEA creó un mecanismo para prestar asistencia directa a los Estados Miembros y ayudar a recuperar, acondicionar y gestionar aún más las fuentes. Grupos de expertos debidamente capacitados y equipados gestionaron la recuperación y el acondicionamiento de varios miles de fuentes.

Un aspecto de interés fundamental que se destaca en el plan de acción es la cuestión de las fuentes huérfanas. Esas fuentes nunca estuvieron sometidas a control reglamentario cuando se suministraron al principio, y fueron abandonadas, robadas o colocadas en lugares indebidos. Desafortunadamente, se estima que hay muchas fuentes médicas y de esterilización de elevada intensidad que están en esta situación.

El OIEA también tiene un importante papel que desempeñar en la preparación y respuesta ante emergencias radiológicas. La Convención sobre la pronta notificación de accidentes nucleares y la Convención sobre asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica (Convenciones sobre pronta notificación y sobre asistencia) imponen obligaciones jurídicas al OIEA con respecto a la preparación y respuesta ante emergencias. En virtud de las convenciones sobre pronta notificación y sobre asistencia, el Centro de Respuesta a Incidentes y Emergencias (IEC) del OIEA coordina las actuaciones de los expertos a nivel mundial y las actividades del OIEA en el plano interno. También ayuda a coordinar las respuestas de los Estados Miembros, así como de otras organizaciones internacionales como la OMS, la FAO o la OMM en caso de incidentes y emergencias nucleares o radiológicas.

A petición de los países, el OIEA envía grupos de expertos para ayudar a aplicar las medidas destinadas a dar cumplimiento a las estrategias nacionales o asesorar sobre cómo tratar las fuentes en desuso y ayudar en esta tarea. Los grupos trabajan con los operadores nacionales de desechos y con los órganos reguladores para recuperar las fuentes, acondicionarlas y lograr su seguridad tecnológica y física con arreglo a las normas y directrices internacionales. En el marco de su plan de acción contra el terrorismo nuclear de 2002, el OIEA estableció un programa para garantizar que las fuentes radiactivas no controladas se sometieran a control reglamentario y se gestionaran correctamente mediante la prestación de asistencia a los Estados Miembros en sus esfuerzos por identificar, localizar, recuperar, acondicionar y almacenar esas fuentes en condiciones de seguridad tecnológica y física o someterlas a disposición final. Estos esfuerzos, que comenzaron a mediados de los años noventa, y las conversaciones con las

autoridades nacionales y organizaciones internacionales pusieron de manifiesto la necesidad de un instrumento que contribuyera a identificar fuentes y dispositivos huérfanos y desconocidos.

En cumplimiento de las recomendaciones de la Conferencia del OIEA sobre seguridad de fuentes de radiación y de materiales radiactivos, celebrada en Dijon en 1998, la Junta de Gobernadores y la Conferencia General del OIEA aprobaron en 1999 el Plan de Acción relativo a la seguridad tecnológica de las fuentes de radiación y a la seguridad física de los materiales radiactivos en que se pedía, entre otras cosas, que el OIEA adoptara medidas para “establecer una base de almacenamiento de información sobre las características de las fuentes y los aparatos que las contengan, incluidos los contenedores de transporte, y difundir esa información, considerando la conveniencia de divulgarla a través de Internet”.

El OIEA elaboró el Catálogo internacional de fuentes y dispositivos radiactivos sellados (Catálogo de fuentes), en que se pormenorizan las características y datos técnicos de un gran número de fuentes y dispositivos. El volumen de todo el Catálogo de fuentes hace imposible su difusión en gran escala. Su información se ha incorporado en una base de datos a la que sólo se puede acceder a través de un sitio web protegido con contraseña.

En vista de lo anterior, la presente publicación se concibió para proporcionar un resumen más viable de fuentes radiactivas selladas y dispositivos típicos que contienen fuentes selladas. Su finalidad es ayudar a no especialistas a identificar fuentes, dispositivos y bultos radiactivos. Está destinada a aportar información a no especialistas que trabajan en controles de fronteras, industrias de chatarra, hospitales, aeropuertos, puertos, departamentos de policía y cuerpos de bomberos, y en otras situaciones en que puedan entrar en contacto con fuentes de manera accidental o en el curso de sus actividades normales. También proporciona información fundamental sobre medidas precautorias que se han de adoptar en caso de que se encuentre una presunta fuente o dispositivo no controlados. La pronta identificación de fuentes en tales situaciones responde a los objetivos de seguridad tecnológica y de seguridad física por igual.

La presente publicación tiene por objeto servir de guía básica y no como un conjunto amplio de instrumentos para definir e impartir instrucciones de manipulación de emergencia de fuentes radiactivas, dispositivos y contenedores de transporte. Por otra parte, ayuda a identificar las fuentes y destacar los riesgos que plantean, y brinda información sobre las medidas adecuadas. Constituye una pequeña pero importante iniciativa en los constantes esfuerzos de la comunidad internacional por reforzar el control de las fuentes radiactivas y los materiales nucleares, incrementar la seguridad tecnológica y física, y hacer por tanto cada más accesibles los beneficios de las fuentes radiactivas.

La publicación ha sido en parte financiada con cargo al Fondo de Seguridad Física Nuclear establecido en virtud del Plan de seguridad física nuclear. El OIEA reconoce con gratitud los esfuerzos de J. Parfitt en la preparación de esta publicación, de la que se encargaron los oficiales M. Al-Mughrabi y J. Neubauer de la División del Ciclo del Combustible Nuclear y de Tecnología de los Desechos.

NOTA EDITORIAL

En el presente informe no se abordan cuestiones de responsabilidad, jurídica o de otra índole, por actos u omisiones de persona alguna.

Aunque se ha tenido gran cuidado en mantener la exactitud de la información presentada en esta publicación, ni el OIEA ni sus Estados Miembros se hacen responsables de las consecuencias que su uso pueda ocasionar.

La utilización de denominaciones particulares de países o territorios no implica juicio alguno por el que publica, el OIEA, acerca de la capacidad legal de estos países o territorios, de sus autoridades e instituciones o de la delimitación de sus fronteras.

La mención de nombres de sociedades o productos determinados (se indique o no que son denominaciones registradas) no implica intención alguna de vulnerar derechos de propiedad intelectual ni debe interpretarse como un respaldo o recomendación por parte del OIEA.

ÍNDICE

INFORMACIÓN CLAVE SOBRE FUENTES Y DISPOSITIVOS RADIATIVOS	1
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Antecedentes	5
1.2. Ámbito y objetivos	5
1.3. Estructura	6
1.4. Posibles peligros asociados a las fuentes radiactivas	7
2. IDENTIFICACIÓN DE UNA FUENTE, UN DISPOSITIVO O UN BULTO DE TRANSPORTE RADIATIVO CON USO AUTORIZADO	9
2.1. Dispositivos	9
2.2. Fuentes	11
2.3. Bultos de transporte	12
2.4. Identificación del transporte y uso de fuentes radiactivas	14
3. MEDIDAS QUE HAN DE ADOPTARSE SI SE ENCUENTRA UNA FUENTE SELLADA, UN DISPOSITIVO O UN BULTO DE TRANSPORTE NO CONTROLADO	15
4. USOS DE FUENTES SELLADAS Y DISPOSITIVOS RADIATIVOS	16
4.1. Usos médicos	17
4.2. Irradiación de productos con fines no médicos	17
4.3. Sistemas de medición	18
4.4. Análisis no destructivo con el empleo de fuentes radiactivas ...	20
4.5. Análisis de materiales	21
4.6. Usos diversos	22
4.7. Ejemplos de fuentes selladas y dispositivos radiactivos	22
4.8. Categorías de fuentes radiactivas establecidas por el OIEA ...	24
5. EJEMPLOS DE DISPOSITIVOS RADIATIVOS	28
5.1. Planta industrial de esterilización	28
5.2. Equipo de teleterapia	29

5.3.	Irradiador de sangre	33
5.4.	Equipo de teleterapia de haces múltiples (cuchillo gamma) ..	36
5.5.	Irradiador de muestras a pequeña escala	38
5.6.	Irradiador de semillas	40
5.7.	Generadores termoeléctricos radioisotópicos (RTG)	43
5.8.	Tapón ciego de sonda gamma para diagrfía de pozos	47
5.9.	Sonda de neutrón para diagrfía de pozos	50
5.10.	Proyector de gammagrafía	54
5.11.	Equipo de gammagrafía “crawler” para inspección de soldaduras en tuberías	62
5.12.	Medidores de alta actividad	64
5.13.	Sonda gamma de baja energía de densidad, espesor y nivel ..	71
5.14.	Sonda beta de densidad y espesor	73
5.15.	Medidor de humedad de material a granel	76
5.16.	Medidor de humedad/densidad del suelo	78
5.17.	Analizador de fluorescencia de rayos X	80
5.18.	Equipo de braquiterapia de carga diferida a distancia	84
5.19.	Eliminador de estática	87
5.20.	Pararrayos radiactivo	90
5.21.	Señales autoluminiscentes	92
5.22.	Detector de humo	94
6.	EJEMPLOS DE FUENTES RADIATIVAS	96
6.1.	Fuente de teleterapia de ^{60}Co	96
6.2.	Fuente de esterilización gamma de ^{60}Co	98
6.3.	Fuente de generador termoeléctrico radioisotópico de ^{90}Sr	100
6.4.	Fuentes de gammagrafía industrial	100
6.5.	Fuentes de braquiterapia de carga diferida a distancia de alta tasa de dosis	102
6.6.	Fuentes gamma de alta energía de calibradores industriales ...	103
6.7.	Fuentes de neutrones de calibración industrial	105
6.8.	Fuentes gamma y de neutrones utilizadas en diagrfía de pozos	107
6.9.	Fuentes de baja energía de calibradores industriales fijos ...	109
6.10.	Fuentes semilla de implante permanente y de braquiterapia de baja tasa de dosis	112
6.11.	Placas oftálmicas	114
6.12.	Fuentes analíticas gamma de baja energía	115
6.13.	Fuentes de calibración y de referencia	117

7.	EJEMPLOS DE BULTOS DE TRANSPORTE RADIATIVOS	120
7.1.	Bultos de transporte de fuentes gamma de alta energía	120
7.2.	Intercambiador de fuentes de radiografía	123
7.3.	Bultos de transporte de fuentes gamma de baja actividad y alta energía	125
7.4.	Embalaje de fuentes de uso único	128
	APÉNDICE I: FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA RADIACIÓN ...	131
	APÉNDICE II: LISTA DE DISPOSITIVOS Y DATOS DE REFERENCIA RESUMIDOS QUE FIGURAN EN LA SECCIÓN 5	134
	REFERENCIAS	141
	DEFINICIONES	142
	COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y EXAMEN	146

INFORMACIÓN CLAVE SOBRE FUENTES Y DISPOSITIVOS RADIATIVOS

CÓMO IDENTIFICAR UN DISPOSITIVO, FUENTE O BULTO RADIATIVO

El dispositivo radiactivo es un objeto en que se instala una fuente radiactiva para utilizarla en su aplicación determinada. Sirve de blindaje de la radiación y permite emplear un haz de radiación controlado para el fin deseado.

El bulto de transporte radiactivo es un objeto o embalaje en que se transporta una o varias fuentes radiactivas. Sirve de blindaje de la radiación.

Los dispositivos y bultos de transporte radiactivos suelen contener plomo, tungsteno u otros materiales densos de blindaje de la radiación, de modo que son pesados en relación con su tamaño.

Muchos dispositivos utilizados en aplicaciones industriales tienen colores brillantes.

Muchos dispositivos tienen incorporado un dispositivo “ventana” con un cierre para que pueda accederse a la fuente que se halla dentro o para que salga el haz de radiación.

Los bultos de transporte radiactivos pueden ser también dispositivos y tener un parecido semejante a otros bultos industriales embalados en cajas de madera o cartón para proveer protección contra daños.

En todos los dispositivos y bultos de transporte que contengan una fuente debería marcarse claramente el símbolo del trébol con el tipo (isótopo) de material radiactivo.



Las fuentes selladas suelen ser cilindros soldados de acero inoxidable sin conectores. En su mayoría las fuentes son cilíndricas, con un diámetro de hasta 10 mm y una longitud de hasta 30 mm; algunas son mucho mayores.

Las fuentes radiactivas deben portar el símbolo del trébol o llevar grabada la palabra “radiactiva”, aunque quizás estas inscripciones sean demasiado pequeñas para distinguirse.

Una fuente radiactiva sin blindaje, expuesta a la vista, podría ser sumamente peligrosa. NO APROXIMARSE.

Se denomina “peligrosa” la fuente que, en condiciones no controladas, puede originar una exposición suficiente para causar graves efectos deterministas para la salud¹. Resulta especialmente peligroso recoger una fuente. Análisis de anteriores emergencias demuestran que el haber llevado una fuente peligrosa (por ejemplo, en un bolsillo) durante sólo unos minutos ha causado graves efectos deterministas para la salud. Por lo tanto, hay que hacer todo lo posible para prevenir la manipulación de material potencialmente radiactivo. No obstante, la permanencia cerca de una fuente muy peligrosa durante períodos limitados de tiempo (unos cuantos minutos)², por ejemplo, para salvar vidas humanas, no debe originar graves efectos deterministas para la salud [1, 2].

INDICACIONES DE UNA FUENTE PELIGROSA

Pueden ser indicaciones de una fuente peligrosa [1] las siguientes:

- Un contenedor pesado con el símbolo del trébol³.
- Una partida con etiquetas de bultos que indiquen un contenido de fuentes potencialmente peligrosas (etiquetas I blancas, II y III amarillas) [3].
- Una partida con números o marcas de transporte de las Naciones Unidas (un bulto marcado Tipo BI, A, B, C,) [3].
- Un dispositivo utilizado para el tratamiento del cáncer (teleterapia o braquiterapia).
- Cámaras o fuentes de radiografía.
- Fuentes de diagragría de pozos utilizadas en operaciones de perforación.

¹ Por efectos deterministas se entiende los efectos letales o que ponen en peligro la vida o que causan lesiones permanentes (p.ej., quemaduras graves) que merman la calidad de vida.

² Como una fuente sin blindaje de Cs-137 de 100 TBq (3000 Ci).

³ Muchos objetos que no son peligrosos tienen el símbolo de advertencia de radiación, por ejemplo, medidores de densidad de la humedad portátiles, detectores de humo, señales de tritio, relojes y brújulas de disco luminoso.

QUÉ HACER SI SE ENCUENTRA UNA FUENTE, UN DISPOSITIVO O UN BULTO DE TRANSPORTE RADIATIVO POTENCIALMENTE PELIGROSO

Si se encuentra una fuente, un dispositivo o un bulto de transporte radiactivo, deben observarse las siguientes medidas:

- No tocar el objeto.
- Evacuar la zona inmediata y prevenir el acceso (asegurar la zona).
- Maximizar la distancia que separa a las personas del objeto (a modo de orientación, la tasa de dosis de radiación y el peligro se reducen considerablemente en la mayoría de los casos con una distancia de separación de al menos 5 m).
- Notificar a autoridades civiles, servicios de emergencia (servicios de salvamento, policía); los detalles de los contratos locales deben estar fácilmente accesibles.

En la ref. [1] se explican las medidas de los primeros actuantes.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La presente publicación tiene la finalidad de prestar asistencia a no especialistas y entidades que puedan entrar en contacto con fuentes, dispositivos y bultos radiactivos en la etapa inicial de su identificación. También ayudará a identificar fuentes que hayan intervenido en sucesos notificados posteriormente a la base de datos sobre tráfico ilícito del OIEA (ITDB).

Además de esta publicación, el OIEA y los organismos gubernamentales competentes de los Estados Miembros poseen una base de datos internacional con detalles de los diseños de la mayor parte de los dispositivos, fuentes o bultos de transporte radiactivos que se conoce que se utilizan o se han utilizado en el pasado, o tienen acceso a ella. Esta base de datos se conoce como Catálogo internacional de fuentes y dispositivos radiactivos sellados (Catálogo de fuentes). Se puede tener acceso al Catálogo de fuentes mediante el personal de contacto designado por los países (en la sección 3 se establecen disposiciones bajo el título “Información de contacto” para que se faciliten los pormenores de los contactos nacionales y otro tipo de datos relativos a su situación). Por motivos de seguridad, el Catálogo de fuentes no es de dominio público, de modo que el propósito de esta publicación es proporcionar información y ayudas de identificación de carácter más general, lo que está en conformidad con el enfoque del OIEA respecto del aumento del control de los accidentes radiológicos, así como de la prevención y la detección del tráfico ilícito o el uso doloso de fuentes radiactivas y la respuesta a esos actos.

El grado de detalle de este manual se ajusta a la necesidad de reducir al mínimo la difusión de información a quienes puedan utilizarla para fines dolosos.

1.2. ÁMBITO Y OBJETIVOS

Los objetivos de la presente publicación son los siguientes:

- Ayudar a reconocer e identificar objetos que puedan considerarse dispositivos, fuentes y bultos de transporte radiactivos.
- Proveer instrucciones sobre qué hacer y cómo obtener ayuda posteriormente.

- Promover el conocimiento de la existencia de dispositivos, fuentes y bultos de transporte radiactivos.
- Proporcionar información relativa a la existencia y utilización del Catálogo internacional de fuentes y dispositivos radiactivos sellados (Catálogo de fuentes) por conducto de los coordinadores designados en los Estados Miembros del OIEA.

La publicación no está concebida como un conjunto de instrumentos exhaustivo para identificar fuentes radiactivas e impartir instrucciones detalladas para la manipulación de esas fuentes. Las autoridades nacionales de servicios de emergencia, las autoridades reguladoras y otras del ámbito civil tienen conocimiento y acceso a información suplementaria para actuar de manera adecuada ante la presencia de cualquier fuente radiactiva identificada. También tienen acceso a una amplia base de datos de dispositivos, fuentes y bultos de transporte radiactivos que compila y mantiene el OIEA.

Este manual probablemente tenga dos grupos de usuarios:

- Grupo primario: miembros de una organización u órgano que despliegan actividades para tratar de identificar y ubicar dispositivos, fuentes y bultos de transporte radiactivos, por ejemplo:
 - Personal de puntos de control de fronteras;
 - Autoridades civiles encargadas de la respuesta inicial, como la policía, los bomberos y el personal de servicios de emergencia;
 - Agentes y actuantes en la clausura de industrias y hospitales;
 - Procesadores de chatarra y desechos industriales;
- Grupo secundario: miembros de una organización u órgano que pueden tropezar fortuitamente con una fuente, un dispositivo o un bulto de transporte radiactivo fuera de control de su “propietario” o en un lugar imprevisto, por ejemplo:
 - Autoridades civiles no especializadas, como la policía;
 - Personal de mantenimiento vial;
 - Servicios de salvamento;
 - Procesadores de chatarra que no utilizan monitores de pórtico.

1.3. ESTRUCTURA

El manual se presenta en ocho secciones. Después de esta introducción, en la sección 2 se explica cómo reconocer una fuente, dispositivo o bulto de transporte. Está previsto que esta sección resulte útil para identificar dispositivos, fuentes o bultos de transporte radiactivos. En la sección 3 se indica

qué hacer si se encuentra una fuente, un dispositivo o un bulto de transporte radiactivo; también se brinda información de utilidad para determinar si la fuente, el dispositivo o el bulto de transporte no está sometido a un control adecuado, y qué medidas adoptar en esa situación. Las secciones 4 a 7 aportan información complementaria que podría servir a los usuarios para familiarizarse con la identificación, los usos y los posibles peligros asociados con las fuentes, los dispositivos y los bultos de transporte radiactivos. En la sección 4 se describen los usos típicos de los dispositivos y fuentes radiactivos. En las secciones 5 a 7 se ilustra una diversidad de dispositivos, fuentes y bultos de transporte radiactivos típicos para ayudar al usuario a identificar los objetos sospechosos.

El apéndice I proporciona información básica sobre las propiedades de la radiación. El apéndice II contiene un índice de dispositivos y de datos de referencia resumidos que figuran en la sección 5; y el apéndice III comprende un índice de fuentes y referencias cruzadas de aplicaciones descritas en la sección 6.

1.4. POSIBLES PELIGROS ASOCIADOS A LAS FUENTES RADIATIVAS

El uso de fuentes radiactivas conlleva dos posibles elementos fundamentales de peligro, que son:

- Muerte o lesiones a causa de accidentes relacionados con fuentes radiactivas;
- Muerte o lesiones a causa del uso doloso de fuentes radiactivas.

Se denomina “fuente huérfana” la fuente radiactiva que no se halla sometida a control reglamentario bien porque nunca lo ha estado o bien porque ha sido abandonada, perdida, colocada indebidamente, robada o trasladada de otro modo sin la debida autorización. Esas fuentes representan el mayor riesgo en casos de accidente o de uso doloso. Un ejemplo es un incidente ocurrido con una fuente utilizada en una unidad de terapia de un hospital que desde entonces ha sido clausurado. No se adoptó ninguna medida para gestionar la fuente correctamente, y después de algunos años la fuente y el blindaje asociado fueron robados por recolectores de chatarra, quienes no reconocieron las señales de aviso, o no les prestaron atención, y desmantelaron el blindaje y la fuente, provocando una contaminación generalizada, lesiones y enfermedad no sólo a sí mismos, sino a las personas con las que entraron en contacto.



FIG. 1. Lesiones sufridas a causa de quemaduras por radiación.

Se han producido numerosos incidentes [4 a 8] en que las personas han quedado expuestas a altas dosis de radiación como resultado de sus propias acciones o de las acciones negligentes de otros, originando graves lesiones y la muerte (véase la fig. 1).

Muchos de esos incidentes se han debido a la falta de conocimiento de cómo identificar una fuente radiactiva por su apariencia o etiquetado. Se ha creado una nueva etiqueta de advertencia con la intención de transmitir mejor la información sobre un posible peligro. La posibilidad del uso doloso de las fuentes ya se ha determinado, y para ese tipo de uso casi de seguro tendrían que transportarse o abandonarse una o varias fuentes radiactivas de actividad alta en un lugar público.

Este manual tiene el objetivo de ayudar a reducir el riesgo de cualquiera de las acciones anteriores y proporciona una clara guía, explicando la naturaleza de las fuentes radiactivas, y ayudando al personal a adquirir la capacidad para identificar una fuente, un dispositivo o un bulto de transporte radiactivo.

En la sección 4 figura una descripción concisa de los grados relativos de peligro asociados con los dispositivos, fuentes y bultos de transporte radiactivos. Se califica de “peligrosa” una fuente si, en condiciones no controladas, puede originar una exposición suficiente para causar graves efectos deterministas para la salud. La recogida de una fuente peligrosa acarrea un grave riesgo. Análisis de emergencias anteriores demuestran que se han producido graves efectos deterministas para la salud cuando se ha sostenido o transportado (p.ej., en un bolsillo) una fuente peligrosa durante varios minutos.

Por lo tanto, hay que hacer todo lo posible para prevenir la manipulación de un posible material radiactivo. No obstante, la permanencia cerca de una fuente muy peligrosa durante períodos limitados de tiempo (varios minutos), por ejemplo, para salvar vidas humanas, no debe originar graves efectos deterministas para la salud [1].

En el apéndice I se explican las propiedades de la radiación con mayor amplitud.

2. IDENTIFICACIÓN DE UNA FUENTE, UN DISPOSITIVO O UN BULTO DE TRANSPORTE RADIATIVO CON USO AUTORIZADO

Las fuentes, los dispositivos y los bultos de transporte varían mucho de apariencia, según la aplicación específica para la que puedan utilizarse. En la sección 4 figura un examen más pormenorizado de los dispositivos, fuentes y bultos de transporte.

El etiquetado de identificación es el método primordial para reconocer un dispositivo, fuente o bulto de transporte radiactivo. En las siguientes secciones se incluye una breve descripción de los dispositivos, fuentes y bultos de transporte radiactivos y su etiquetado.

2.1. DISPOSITIVOS

Se entiende por “dispositivo” la máquina, el instrumento o el bulto blindado en que se ubica una fuente durante su utilización.

Los dispositivos varían mucho de apariencia según la cantidad, el tipo y la energía de la radiación de la fuente radiactiva interna, y la aplicación específica para la que está destinado el dispositivo.

En general, la mayoría de los dispositivos contienen fuentes radiactivas emisoras de rayos gamma que están eficientemente blindadas con metales densos como plomo, tungsteno o uranio empobrecido. Por tanto, muchos dispositivos pueden caracterizarse como pesados en relación con su tamaño [9].

Los dispositivos pueden ser intencionalmente portátiles, como las cámaras de radiografía y los medidores de caminos, o también se les puede cargar la fuente en una instalación dedicada a ese fin y luego transportarse a un lugar de uso permanente. En consecuencia, es verdaderamente legítimo utilizar un dispositivo para transportar una fuente siempre que el usuario esté

autorizado para hacerlo y el dispositivo lleve las etiquetas correspondientes. En este caso, las etiquetas deben ajustarse tanto al sistema de etiquetado de bultos de transporte descrito en el examen que figura a continuación, como al que se exige para los dispositivos. Muchos dispositivos empleados para el transporte de la fuente tienen un sobreenvase o jaula destinado a protegerlos de daños o interferencias en tránsito, que puede tener la apariencia de un embalaje industrial corriente salvo por el etiquetado para el transporte [3].

Son dispositivos “portátiles”, por ejemplo, los siguientes:

- Proyectores de gammagrafía;
- Medidores de densidad de la humedad para construcción de caminos e ingeniería civil;
- Detectores de fluorescencia de rayos X para la caracterización de materiales.

Entre los dispositivos utilizados como bultos de transporte para trasladar una fuente radiactiva a su lugar de uso se cuentan, entre otros, los medidores de densidad y espesor de radiación gamma y beta, los cabezales de teleterapia, los irradiadores de sangre y los detectores de humo.

Todos esos dispositivos se muestran en la sección 5.

Etiquetado de un dispositivo

Los dispositivos que contienen fuentes radiactivas deben llevar etiquetas claras. Según sea su tamaño la etiqueta se hace más legible y sirve como advertencia para disuadir contra cualquier injerencia. El texto exacto de las etiquetas de los dispositivos varía según los reglamentos locales, aunque siempre debe incluir el símbolo del trébol, el nucleido y número atómico, y normalmente la palabra “radiactivo”. De ser posible, el trébol se representa en negro o rojo con un fondo amarillo (véase la fig. 2).

Además de los símbolos representados en la fig. 2, se está implantando un nuevo símbolo que aparecerá en general dentro de la cubierta exterior de los



FIG. 2. Ejemplos de símbolos del trébol.



FIG. 3. Nuevo símbolo para advertir contra el acceso a una fuente.

dispositivos, con el fin de advertir también al personal no autorizado contra la posibilidad de acceder a la fuente alojada en el interior (véase la fig. 3).

2.2. FUENTES

Las fuentes en su mayoría se presentan como cápsulas de acero inoxidable en forma de cilindro de diversas dimensiones. Normalmente son de acero inoxidable, que puede oscurecerse o deslucirse con el uso, sobre todo cuando se trata de fuentes de actividad muy alta.

En general, una presunta fuente radiactiva sellada encontrada sin blindaje puede ser peligrosa y debería evitarse la aproximación a ella de personal no capacitado sin equipo apropiado de detección y protección radiológica.

La mayoría de las fuentes radiactivas son de tamaño bastante reducido y se hace muy difícil leer las etiquetas sin aproximarse y exponerse a posibles radiolesiones.

Es fundamental que se evite:

- Leer las etiquetas sin conocimiento o equipo especializado;
- Tocar una fuente radiactiva.

Hay que tener en cuenta que el tamaño físico de una fuente no es una indicación de su peligro relativo.

En la sección 6 figuran ejemplos de fuentes.

Etiquetado de una fuente

Todas las fuentes selladas (a menos que sean demasiado pequeñas de tamaño) se marcan con el símbolo del trébol, la palabra “radiactiva”, o con ambas cosas. También pueden llevar consignado el nucleido y su número atómico, el símbolo del fabricante y un número de serie. Además, puede indicarse también la actividad (cantidad de material radiactivo o intensidad de la fuente) y la fecha de fabricación (véase la fig. 4).

2.3. BULTOS DE TRANSPORTE

Al igual que en el caso de los dispositivos, los bultos de transporte varían considerablemente de tamaño, peso y apariencia, según la actividad, el tipo y la energía de la fuente o las fuentes radiactivas que contienen.

Los bultos pueden ser diversos, desde frascos de acero refrigerados por aletas que contienen blindaje de plomo o uranio empobrecido y pesan más de 5 t para las fuentes radiactivas gamma de muy alta actividad, hasta pequeñas cajas de cartón desechables para fuentes de actividad baja.

En la sección 7 se ofrecen ejemplos de la amplia diversidad de bultos de transporte en uso.

Etiquetado de un bulto de transporte

El etiquetado de los bultos de transporte en general se ajusta a los instrumentos reglamentarios internacionales reseñados en el Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos del OIEA [3]. Estos requisitos



FIG. 4. Ejemplos de símbolos del trébol.



FIG. 5. Ejemplos de los tipos de etiquetas que se requieren para bultos de fuentes radiactivas.

también son aplicables a los dispositivos cuando éstos se utilizan para transportar fuentes radiactivas.

Todos los bultos que contienen fuentes radiactivas, a menos que tengan materiales de muy bajos niveles de radiactividad (por ejemplo, detectores de humo o cantidades exentas) deben etiquetarse claramente con uno de los tipos de etiquetas que se indican en la fig. 5, como mínimo.

La etiqueta se elige en función de la combinación de la tasa de dosis de radiación máxima en la superficie del bulto y de la tasa de dosis de radiación máxima a una distancia de 1 m de la superficie del bulto. Las etiquetas de la categoría 1 indican las tasas de dosis más bajas, mientras que las etiquetas de la categoría 3 están asociadas con las tasas de dosis más altas.

Las etiquetas de una categoría, según el blindaje del bulto, *no son* indicativas de la cantidad de material radiactivo, el tipo de radiación o el peligro del material. No obstante, deben consignarse en la etiqueta el nucleido, el número másico y la actividad. Las etiquetas deben colocarse en dos lados opuestos del bulto. (Las “categorías” mencionadas en el contexto del etiquetado de los bultos no deben confundirse con el sistema de categorización del OIEA, en el que se clasifican las fuentes radiactivas según el grado de peligro: las fuentes de la categoría 1 son las potencialmente más peligrosas y las fuentes de la categoría 5 es muy poco probable que sean peligrosas. En la sección 4.9 se explica de manera más exhaustiva las categorías relacionadas con la exposición a las fuentes).

El bulto también debe llevar el ‘número de las Naciones Unidas’ y el nombre correcto de expedición, es decir, “Bulto Tipo B(U) de material radiactivo UN2916”.

El bulto en expedición también debe ir acompañado de una “declaración del remitente”, en que se indique que el bulto está en conformidad con las normas internacionales pertinentes. Debe llevar el nombre del remitente y ser firmado por éste.

El bulto radiactivo en tránsito que no cumpla con los anteriores requisitos básicos puede no estar siendo trasladado legítimamente y, por tanto, debe considerarse presuntamente no sometido a un régimen de control o autorización.

2.4. IDENTIFICACIÓN DEL TRANSPORTE Y USO DE FUENTES RADIATIVAS

En el mundo se utilizan muchos miles de dispositivos y fuentes radiactivos en las aplicaciones enumeradas en la sección 4, en la industria, los hospitales, la ingeniería civil, la exploración de petróleo, etc. Miles de fuentes se transportan anualmente a su lugar de empleo. Es importante que no se perturbe el desarrollo de estas actividades. Por consiguiente, la información que contiene este manual debe utilizarse con cautela, y sólo se enviaría notificación a las autoridades civiles si hubiera sospechas razonables del uso o transporte no controlado de una fuente radiactiva, o si se descubre “incontrolado” un presunto dispositivo, fuente o bulto de transporte radiactivo.

El uso “controlado” puede definirse como el uso de un dispositivo, fuente o bulto de transporte radiactivo para un fin previsto y cuyo propietario pueda determinarse. Si estos requisitos no se cumplen, entonces podrá considerarse “incontrolado” el dispositivo, fuente o bulto de transporte.

Las autoridades nacionales regulan el uso y transporte seguros de dispositivos, fuentes y bultos radiactivos con el fin de proteger la salud y la seguridad del público.

En las secciones 5, 6 y 7 se describen las situaciones en que cabría esperar que se encuentren dispositivos, fuentes selladas y bultos de transporte.

Si un presunto dispositivo, fuente radiactiva sellada o bulto de transporte no se enmarca en las categorías de uso, almacenamiento o transporte controlado mencionadas en las secciones 5, 6 y 7, y si no puede hallarse ningún propietario autorizado, deberían adoptarse las medidas enunciadas a continuación.

Ejemplos de uso incontrolado pueden ser los siguientes:

- Una fuente hallada sin blindaje y no ubicada en un dispositivo o bulto de transporte;
- Un dispositivo no encontrado en su lugar de uso o almacenamiento autorizado, o en tránsito autorizado;
- Un dispositivo o fuente que se encuentre abandonado.

En la sección 3 se describen las medidas que se han de adoptar si se descubre un dispositivo, una fuente sellada o un bulto de transporte en una situación presuntamente no autorizada o incontrolada, o si se sospecha que su transporte no está siendo controlado.

3. MEDIDAS QUE HAN DE ADOPTARSE SI SE ENCUENTRA UNA FUENTE SELLADA, UN DISPOSITIVO O UN BULTO DE TRANSPORTE NO CONTROLADO

- 1) Observar las medidas señaladas a continuación si se encuentra una fuente, un dispositivo o un bulto de transporte radiactivo:
 - No tocar el objeto.
 - Evacuar la zona inmediata y prevenir el acceso (asegurar la zona).
 - Maximizar la distancia a la que se encuentran las personas del objeto (a modo de orientación, la tasa de dosis de radiación y el peligro se reducen considerablemente en la mayoría de los casos a una distancia de separación de al menos 5 m).

- Notificar a las autoridades civiles, los servicios de emergencia (servicios de salvamento, policía); los detalles de los contactos locales deben ser fácilmente accesibles.

En la ref. [1] se pueden consultar más detalles sobre medidas concretas.

- 2) Aplicar cualquier procedimiento o protocolo específico para el caso de que se trate y notificar a las autoridades civiles, teniendo presente lo siguiente:
 - Sólo debe acercarse al objeto sospechoso el personal capacitado y dotado de equipo de detección de radiaciones adecuado.
 - Tras el inicio de la respuesta, los primeros actuantes deben aplicar las medidas en el lugar de la emergencia con arreglo a los planes de emergencia establecidos [1].

4. USOS DE FUENTES SELLADAS Y DISPOSITIVOS RADIATIVOS

Las propiedades de la radiación se utilizan en una amplia gama de aplicaciones. Sin embargo, en todas estas aplicaciones, el material radiactivo se encuentra dentro de la fuente sellada y el dispositivo permite que la radiación se emplee de manera controlada.

Las esferas de aplicación para el uso de dispositivos y fuentes radiactivos pueden desglosarse en seis grupos:

- Usos médicos;
- Irradiación de productos con fines no médicos;
- Sistemas de calibración;
- Sistemas de formación de imágenes (radiografía);
- Análisis de materiales;
- Usos diversos.

4.1. USOS MÉDICOS

Los dispositivos y fuentes radiactivos se utilizan en el sector de la medicina para la terapia del cáncer y la irradiación de sangre.

En la terapia del cáncer, el tumor queda expuesto a la radiación emitida por un haz externo que atraviesa el cuerpo hasta el sitio del cáncer (teleterapia) o mediante el implante temporal o permanente de una fuente de radiación dentro o cerca del tumor (braquiterapia). La acción de la radiación aniquila las células cancerosas y propicia la eliminación o reducción del tumor.

La sangre puede ser tratada por irradiación previa a la transfusión para inhibir la proliferación de los linfocitos. Ello reduce al mínimo la probabilidad de problemas relacionados con el sistema inmunológico del paciente en el futuro.

Por tanto, es probable encontrar dispositivos radiactivos utilizados en aplicaciones médicas en:

- Unidades hospitalarias de terapia del cáncer;
- Unidades hospitalarias de transfusión de sangre y unidades de almacenamiento de sangre.

Además, en el diagnóstico médico se emplean extensamente los radioisótopos de período corto, pero su peligro es mínimo y rebasan el alcance del manual.

4.2. IRRADIACIÓN DE PRODUCTOS CON FINES NO MÉDICOS

Los dispositivos y fuentes radiactivos se emplean en el tratamiento de materiales para lo siguiente:

- Esterilización;
- Tratamiento por irradiación para alterar las propiedades de un material;
- Tratamiento por irradiación de plagas (p.ej., moscas) para impedir su reproducción;
- Irradiación de alimentos como medio de preservarlos.

En la esterilización, los productos que deben ser esterilizados (por ejemplo, dispositivos médicos y vendajes) se exponen a un alto nivel de radiación. La dosis de radiación se controla cuidadosamente para eliminar las bacterias que puedan haber entrado accidentalmente en el embalaje durante el proceso de fabricación. El proceso no afecta al producto en sí.

Los materiales pueden ser tratados por irradiación con el fin de modificar sus propiedades; por ejemplo, se puede utilizar una alta dosis de radiación para el enlace cruzado de cadenas de polímeros en un plástico con el fin de fortalecerlo. Las semillas pueden ser irradiadas para promover su germinación precoz o aumentar su resistencia a las enfermedades.

Las fuentes radiactivas se utilizan en un programa destinado a reducir la población de plagas de insectos. La División Mixta FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en la Agricultura y la Alimentación ha trabajado durante muchos años en el desarrollo de la técnica de los insectos estériles (TIE) para la lucha contra la mosca tsetsé.

Normalmente las fuentes utilizadas para tratar los materiales por irradiación tienen alta energía e intensidad de radiación y su blindaje es el más voluminoso. Para la esterilización industrial de productos médicos, por ejemplo, el dispositivo es en realidad un edificio que contiene una amplia sala blindada por la que pasa el producto.

Las instalaciones de tratamiento de materiales pueden encontrarse en:

- Instalaciones dedicadas a la esterilización que son unidades del tamaño de fábricas;
- Industrias de fabricación de dispositivos médicos;
- Laboratorios de investigación y establecimientos docentes;
- Instalaciones de investigación agrícola.

4.3. SISTEMAS DE MEDICIÓN

Los dispositivos y fuentes radiactivos se emplean para medir lo siguiente:

- Espesor;
- Densidad;
- Nivel.

Para la medición del espesor de una lámina de material que se esté procesando a través de un tren laminador, en un extremo de la lámina se coloca la fuente radiactiva y en el otro el detector (véase la fig. 6). La cantidad de radiación transmitida es proporcional al espesor del material suponiendo una densidad constante. La señal proveniente del sistema de calibración vuelve al control de los primeros procesos para garantizar que siempre se logre el espesor correcto. El isótopo se elige con la energía más adecuada al espesor y la densidad relativos de la lámina de material que se mide. El objetivo es

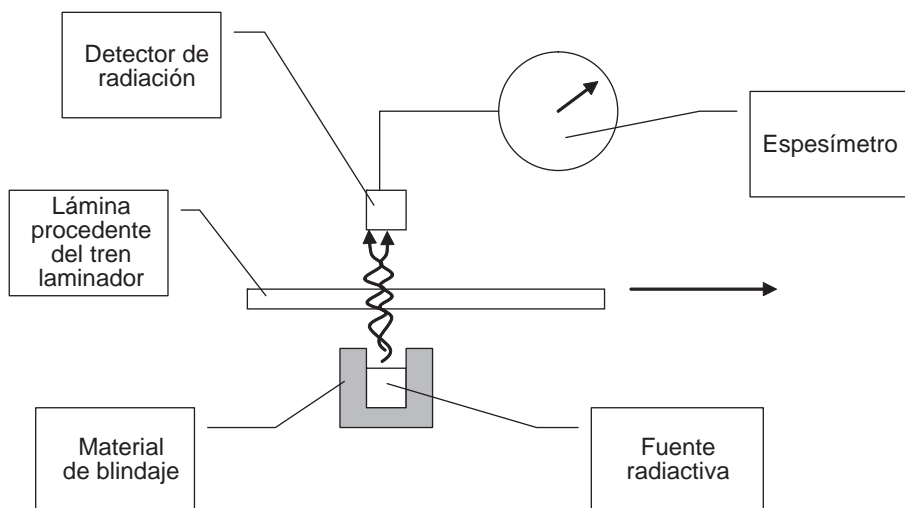


FIG. 6. Esquema de un medidor típico de espesor de transmisión de la radiación.

conseguir la óptima atenuación de la radiación y así obtener una señal de alta resolución para el sistema de medición de la radiación [9].

Asimismo, la densidad de un material de espesor conocido puede ser evaluada midiendo la cantidad de radiación transmitida a través del material o reflejada de ese material.

En la medición del nivel de material en un contenedor, el nivel puede determinarse utilizando una fuente de radiación o un detector de radiación. El haz de radiación se hace pasar a través del contenedor y cuando el nivel del material en el contenedor rebasa la altura a la que está fijado el haz, la transmisión de la radiación se atenúa y sirve de señal para controlar el proceso de llenado. Este proceso se aplica en una amplia diversidad de operaciones, desde las de tolvas industriales hasta las de envasado de alimentos.

Pueden encontrarse sistemas de medición de la radiación en:

- Tratamiento de minerales;
- Plantas industriales de tratamiento;
- Cadenas de llenado;
- Tolvas y plantas de tratamiento de productos químicos;
- Fabricación de cigarrillos;
- Fabricación de papel.

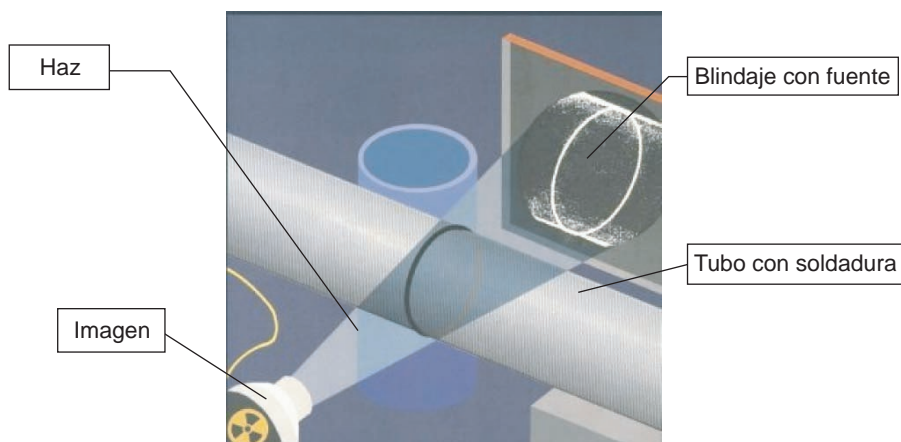


FIG. 7. Sistema típico de gammagrafía.

4.4. ANÁLISIS NO DESTRUCTIVO CON EL EMPLEO DE FUENTES RADIATIVAS

El uso principal de las fuentes y los dispositivos radiactivos para la formación de imágenes de análisis no destructivo (AND) se encuentra en la esfera de la gammagrafía. La gammagrafía se asemeja a la radiografía de rayos X para fines médicos, pero en lugar de utilizarse un generador de rayos X eléctrico para crear la imagen, se emplea una fuente radiactiva que produce rayos gamma. La fuente radiactiva se utiliza cuando hay dificultades para la alimentación de energía del generador de rayos X, o cuando el trabajo se lleva a cabo en espacios reducidos o confinados. La fuente se introduce en un dispositivo transportable, normalmente conocido como “proyector” o “cámara”, y se pone al descubierto en posición de trabajo mediante un sistema de cables de manipulación a distancia. Los rayos gamma atraviesan el espécimen que se radiografía y reflejan la imagen en una película (véase la fig. 7). El sistema suele emplearse para la radiografía de soldaduras estructurales en elementos de ingeniería, como edificios y tuberías. En la gammagrafía se aplican por lo general fuentes de ^{192}Ir , ^{75}Se y ^{60}Co . Se elige el isótopo que tenga la energía más adecuada para el espesor y la densidad relativos del material que se radiografía con el fin de obtener el contraste de imagen óptimo [10].

Pueden encontrarse sistemas de AND en:

- Proyectos de ingeniería civil;
- Soldadura de tuberías;
- Plantas generales de fabricación industrial;
- Operaciones de mantenimiento en muchas plantas de tratamiento industrial;
- Industria aeronáutica.

4.5. ANÁLISIS DE MATERIALES

Los dispositivos y fuentes radiactivos se utilizan en el tratamiento de materiales para:

- Análisis elemental de materiales;
- Deducción del contenido de humedad.

Un ejemplo del análisis elemental de materiales es la fluorescencia de rayos X. Los rayos de radiación gamma de energía específica pueden dirigirse a una aleación de metal. Éstos interactúan con diferentes elementos en diversas formas y la radiación secundaria de distintas energías queda “reflectada”. El análisis del espectro de radiación reflectado provee una medición de los elementos constituyentes y sus proporciones relativas.

El contenido de humedad y de hidrocarburos en los materiales a granel y las cadenas de elaboración puede ser evaluado midiendo la transmisión y reflexión de los neutrones de una fuente de radiación neutrónica. Los neutrones tienen la misma masa que los átomos de hidrógeno y rebotan de la colisión con un átomo de hidrógeno a velocidad muy reducida. Las mediciones de la cantidad de neutrones desacelerados que han rebotado de un material a granel permiten evaluar el contenido de hidrógeno e igualmente medir el contenido de agua. En la exploración de petróleo, la misma técnica, unida a otras mediciones, puede aplicarse para evaluar la presencia de hidrocarburos en un pozo petrolífero.

Pueden utilizarse fuentes radiactivas para el análisis de materiales en:

- Tratamiento de chatarra;
- Análisis de plomo en pinturas;
- Análisis en línea en el tratamiento de materiales;
- Análisis de pulpa de madera y fangos en la industria de tratamiento;
- Instalaciones de investigación;

- Ingeniería civil y construcción de caminos;
- Agricultura;
- Laboratorios industriales;
- Exploración y producción de petróleo.

4.6. USOS DIVERSOS

Hay otras muchas aplicaciones de dispositivos y fuentes radiactivos que no se enumeran aquí. Algunos otros ejemplos son:

- Generación de energía con el empleo de un generador termoelectrónico radioisotópico;
- Detección de humo;
- Señales autoluminiscentes;
- Miras de tiro;
- Eliminación de electricidad estática;
- Prevención de rayos.

Las aplicaciones anteriores se describen en las secciones 5 y 6.

4.7. EJEMPLOS DE FUENTES SELLADAS Y DISPOSITIVOS RADIATIVOS

La cápsula primaria en que se encuentra el material radiactivo se denomina fuente radiactiva sellada, y se conoce también como fuente radiactiva, fuente de radiación, fuente sellada o fuente (véase la fig. 8).

En la sección 6 figura una selección representativa de ejemplos de fuentes radiactivas selladas. En general, la fuente sellada tiene la apariencia de una cápsula de acero inoxidable cilíndrica con una soldadura en un extremo.

En casi todas las aplicaciones de las fuentes radiactivas, éstas se encuentran dentro de un depósito blindado de uso normal, que también contiene otros instrumentos o equipos informáticos de mecánica vinculados con la aplicación específica de la fuente o que está asociado con ellos. Éste en general recibe el nombre de “dispositivo”. La índole del dispositivo depende de la aplicación. En muchos casos, el dispositivo se emplea también para el transporte de la fuente sellada a su lugar de uso previsto.

El dispositivo por lo general tiene incorporado suficiente blindaje para absorber radiación a un nivel inocuo para el público, y un dispositivo

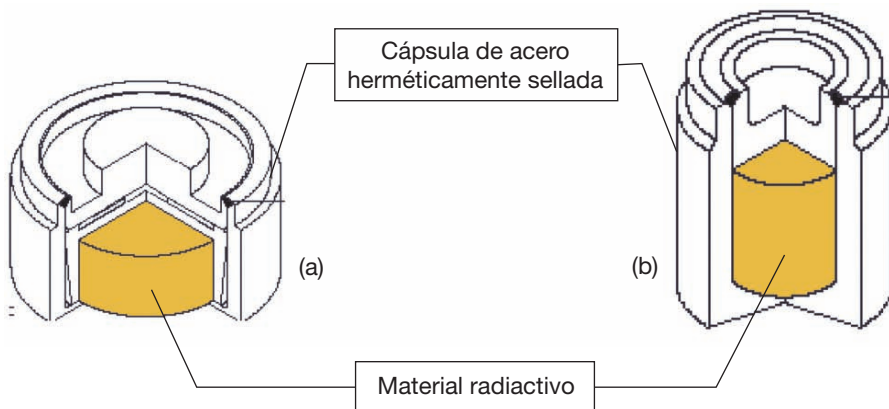


FIG. 8. Modelos de fuentes radiactivas selladas donde aparece a) una fuente de disco típica de ^{241}Am ; y b) una fuente cilíndrica típica de ^{137}Cs .

“obturador” que permite que el haz de radiación de la fuente se dirija hacia el objeto cuando se abre la ventana.

El conjunto se ajusta durante su uso de modo que no pueda llegar al público ningún haz de radiación expuesto, y los controles técnicos sólo permiten acceso autorizado a la fuente almacenada en el dispositivo o al haz de radiación.

La mayoría de los dispositivos y fuentes están instalados en lugares permanentes (como fábricas, hospitales, plantas de esterilización gamma); no obstante, hay varias aplicaciones clave en que las fuentes se utilizan para una sola tarea en un sitio y luego se trasladan, en su dispositivo o en un bulto de transporte, a otro lugar. Ejemplos de estas aplicaciones son la gammagrafía y la medición de la densidad de la humedad en la construcción.

En la sección 5 se ilustra una amplia gama de dispositivos típicos.

Las fuentes se trasladan de un lugar a otro en el dispositivo en que han de utilizarse o en bultos de transporte blindados concebidos específicamente para el tipo de fuente que se transporta.

El tipo de bulto de transporte variará desde un frasco colocado en caja de acero con un peso de más de 5 t y un blindaje de plomo de más de 20 cm para fuentes de esterilización de gran energía, hasta una caja de cartón para fuentes con niveles muy bajos de producción de radiación, o para la radiación que se absorbe fácilmente.

En la sección 7 se muestra una diversidad de bultos de transporte típicos.

4.8. CATEGORÍAS DE FUENTES RADIATIVAS ESTABLECIDAS POR EL OIEA

El OIEA ha creado un sistema de categorización de fuentes radiactivas [11] con objeto de proporcionar un medio sencillo y lógico para clasificarlas atendiendo a su potencial para causar daños a la salud humana. Este sistema sirve además de medio para agrupar en categorías discretas las aplicaciones en que estas fuentes se utilizan.

Reconociendo la importancia suprema de la salud humana, el sistema de categorización se basa primordialmente en el potencial de las fuentes radiactivas para causar efectos deterministas para la salud. Por lo tanto, el sistema de categorización se basa en el concepto de “fuentes peligrosas” que se cuantifica en función de valores D. El valor D es la actividad específica de los radionucleidos de las fuentes que, de no controlarse, podría causar graves efectos deterministas en relación con una serie de situaciones hipotéticas, incluso la exposición externa a una fuente no blindada y la exposición interna accidental después de la dispersión (como un incendio o explosión) del material de la fuente.

La actividad de un material radiactivo (A) en una fuente varía en muchos órdenes de magnitud; los valores D se utilizan, por tanto, para normalizar la diversidad de actividades con objeto de proporcionar una referencia en la comparación de riesgos; esto se hace tomando la actividad A de la fuente (en TBq) y dividiéndola por el valor D del radionucleido correspondiente.

En algunas situaciones quizás sea apropiado categorizar una fuente sobre la base de A/D solamente; por ejemplo, cuando la práctica para la cual es posible utilizar la fuente sea desconocida o no confirmada, como puede suceder en el momento de la importación o la exportación de la fuente. Con todo, cuando las circunstancias de uso de la fuente se conozcan, el órgano regulador puede tomar la decisión de modificar esta categorización inicial empleando otra información sobre la fuente o su uso. En algunas circunstancias tal vez sea conveniente asignar una categoría en función de la práctica en que se utiliza la fuente (véase el cuadro 1).

Dentro de este sistema de categorización, las fuentes de la categoría 1 se consideran las potencialmente más “peligrosas” porque pueden plantear un riesgo muy alto para la salud humana si no se gestionan en condiciones de seguridad tecnológica y física. Una exposición de sólo varios minutos a fuentes de una categoría 1 sin blindaje podría ser mortal. En el extremo inferior del sistema de categorización, las fuentes de la categoría 5 son las menos potencialmente peligrosas; con todo, incluso estas fuentes podrían originar dosis superiores a los límites de dosis si no se controlan correctamente y, por tanto, deben mantenerse bajo un control reglamentario apropiado.

CUADRO 1. CATEGORÍAS DE FUENTES UTILIZADAS EN PRÁCTICAS CORRIENTES [11]

Categoría	Fuente ^a y práctica	Coefficiente de actividad ^b (A/D)
1	Generadores termoeléctricos radioisotópicos (RTG) Irradiadores Fuentes de teleterapia Fuentes de teleterapia fijas de haces múltiples (cuchillo gamma)	$A/D \geq 1\,000$
2	Fuentes de gammagrafía industrial Fuentes de braquiterapia de tasa de dosis alta/media	$1\,000 > A/D \geq 10$
3	Medidores industriales fijos que tienen incorporadas fuentes de alta actividad Sondas de pozos	$10 > A/D \geq 1$
4	Fuentes de braquiterapia de baja tasa de dosis (salvo placas oftálmicas e implantes permanentes) Calibradores industriales que no tienen incorporadas fuentes de alta actividad Densitómetros óseos Eliminadores de estática	$1 > A/D \geq 0,01$
5	Placas oftálmicas y fuentes de implante permanente de baja tasa de dosis de braquiterapia Dispositivos de fluorescencia de rayos X (XRF) Dispositivos de captura de electrones Fuentes de espectrometría Mossbauer Fuentes de comprobación de tomografía por emisión de positrones (PET)	$0,01 > A/D$ y $A > \text{exenta}$

^a En la asignación de las fuentes a una categoría se han tenido en cuenta otros factores además de los factores A/D.

^b Esta columna puede utilizarse para determinar la categoría de una fuente meramente en función de A/D. Esto quizás sea apropiado, por ejemplo, si la práctica se desconoce o no se encuentra en la lista, si las fuentes tienen un período breve de semidesintegración y/o si no están selladas, o si se trata de fuentes agregadas.

En la ref. [11] puede encontrarse una descripción detallada e integral de las categorías de fuentes.

A través de las secciones 5 y 6 las fuentes y los dispositivos se categorizan según su potencial para causar daños, como se indica en esta reseña.

CUADRO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS CATEGORÍAS EN TÉRMINOS SENCILLOS [11]

Categoría de fuente	Riesgo de proximidad a una fuente determinada	Riesgo en caso de que el material radiactivo de la fuente se disperse debido a un incendio o explosión
1	Extremadamente peligrosa para la persona: Esta fuente, si no se gestiona o protege en condiciones de seguridad tecnológica y física, probablemente causaría lesiones permanentes a una persona que la manipulara o que de otro modo entrara en contacto con ella durante más de varios minutos. Podría ser mortal para la persona que se aproximara a esta cantidad de material radiactivo sin blindaje por un período de varios minutos a una hora.	Esta cantidad de material radiactivo, de dispersarse, podría posiblemente – aunque sería poco probable – causar lesiones permanentes o la muerte de las personas que se encontrarán en las proximidades. Habría poco o ningún riesgo de efectos inmediatos para la salud de las personas que se encontrarán a más de varios cientos de metros, pero las zonas contaminadas tendrían que descontaminarse de conformidad con las normas internacionales. En el caso de las fuentes de gran energía la zona que habría que descontaminar podría ser de un kilómetro cuadrado o más ^a .
2	Muy peligrosa para la persona: Esta fuente, si no se gestiona o protege en condiciones de seguridad tecnológica y física, podría causar lesiones permanentes a una persona que la manipulara o que estuviera en contacto con ella durante un breve lapso de tiempo (minutos a horas). Podría ser mortal para la persona que se aproximara a esta cantidad de material radiactivo sin blindaje durante un período de horas a días.	Esta cantidad de material radiactivo, de dispersarse, podría posiblemente – aunque sería poco probable – causar lesiones permanentes o la muerte de personas en las inmediaciones. Habría poco o ningún riesgo de efectos inmediatos para la salud de las personas que se encontrarán a una distancia de aproximadamente cien metros de distancia, pero las zonas contaminadas tendrían que descontaminarse de conformidad con las normas internacionales. La zona que habría que descontaminar probablemente no excedería de un kilómetro cuadrado ^a .

CUADRO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS CATEGORÍAS EN TÉRMINOS SENCILLOS [11] (cont.)

Categoría de fuente	Riesgo de proximidad a una fuente determinada	Riesgo en caso de que el material radiactivo de la fuente se disperse debido a un incendio o explosión
3	Peligroso para la persona: Esta fuente, si no se gestiona o protege en condiciones de seguridad tecnológica y física, podría causar lesiones permanentes a una persona que la manipulara o que estuviera en contacto con ella durante algunas horas. Podría posiblemente ser mortal – aunque sería poco probable – para la persona que se aproximara a esta cantidad de material radiactivo sin blindaje durante un período de días a semanas.	Esta cantidad de material radiactivo, de dispersarse, podría posiblemente – aunque sería muy poco probable – causar lesiones permanentes o la muerte de personas en las inmediaciones. Habría poco o ningún riesgo de efectos inmediatos para la salud de las personas que se encontraran a una distancia de aproximadamente varios metros, pero las zonas contaminadas tendrían que descontaminarse de conformidad con las normas internacionales. La zona que habría que descontaminar probablemente no excedería de una pequeña fracción de un kilómetro cuadrado ^a .
4	Poco probable que sea peligrosa para la persona: Es muy poco probable que esta fuente cause lesiones permanentes a una persona. Sin embargo, esta cantidad de material radiactivo sin blindaje, si no se gestiona o protege en condiciones de seguridad tecnológica y física, posiblemente podría – aunque sería poco probable – causar lesiones temporales a alguien que la manipulara o que de otro modo estuviera en contacto con ella durante muchas horas, o que estuviera cerca de ella por un período de muchas semanas.	Esta cantidad de material radiactivo, de dispersarse, no podría causar lesiones permanentes a las personas ^b .
5	Muy poco probable que sea peligrosa para la persona: Esta fuente no podría causar a nadie lesiones permanentes ^b .	Esta cantidad de material radiactivo, de dispersarse, no podría causar a nadie lesiones permanentes ^b .

^a La extensión de la zona que habría que descontaminar dependería de muchos factores (incluso la actividad, el radionucleido, cómo fue dispersado y las condiciones meteorológicas).

^b No se indican en este estado los posibles efectos retardados para la salud.

5. EJEMPLOS DE DISPOSITIVOS RADIATIVOS

5.1. PLANTA INDUSTRIAL DE ESTERILIZACIÓN

Categoría de dispositivo	1: Extremadamente peligroso para la persona, si no se controla correctamente
Intervalo típico de dimensiones	Normalmente un edificio industrial, construido especialmente para un fin determinado, de 100 m de largo \times 200 m de ancho \times 6 m de alto
Intervalo típico de masas	No aplicable
Aplicación	Esterilización de materiales mediante exposición a radiación gamma
Véase la fig. 9	

Descripción de uso

La planta de esterilización gamma no es un dispositivo estrictamente hablando. Es un edificio blindado en que se almacena un gran número de fuentes de ^{60}Co en conjunto.

El producto que requiere esterilización gamma se coloca en la zona blindada y se expone a las fuentes durante el período necesario para administrar la dosis gamma que eliminará las bacterias.

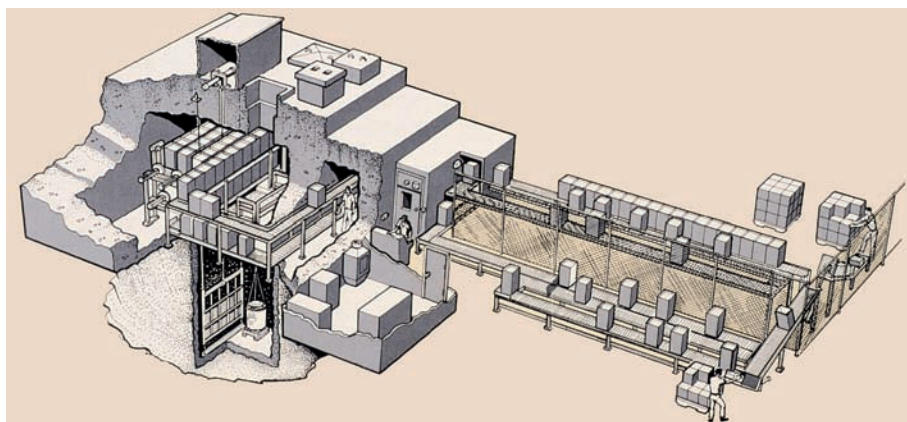


FIG. 9. Planta típica industrial de esterilización gamma (foto: Comisión Reguladora Nuclear).

Las fuentes normalmente se ponen al descubierto en el edificio blindado durante el proceso de irradiación, pero después se bajan por control remoto a un pozo o piscina de agua para protegerlas con blindaje si se hace preciso acceder a la sala blindada.

El producto puede llevarse en lotes a la sala blindada, y las fuentes pueden extraerse por control remoto del pozo o piscina para irradiar el producto, o pueden dejarse al descubierto de manera semipermanente y el producto trasladarse a través de la sala blindada en un sistema transportador.

El acceso del personal a la sala blindada es estrictamente controlado para minimizar la posibilidad de exposición a las fuentes.

Entorno operativo típico

Las plantas de irradiación están situadas por lo general en emplazamientos industriales e irradian los productos por contrato para una amplia gama de aplicaciones, en su mayoría relacionadas con la irradiación de dispositivos médicos, pero también pueden utilizarse para alimentos y otras aplicaciones.

Las fuentes se trasladan hacia y desde los irradiadores en contenedores de transporte especializados, que carga personal especializado.

Fuentes

Una instalación de irradiación típica contiene hasta 185 PBq (5 MCi) de ⁶⁰Co.

5.2. EQUIPO DE TELETERAPIA

Categoría de dispositivo	1: Extremadamente peligroso para la persona si no se controla correctamente
Intervalo típico de dimensiones	Cabezal de teleterapia que sostiene la fuente: 300 a 600 mm de diámetro × 300 a 600 mm de largo Dispositivo completo: 4 m de largo × 2 m de ancho × 3 m de alto
Intervalo típico de masas	Cabezal de teleterapia que sostiene la fuente: 200 a 500 kg Dispositivo completo 500 a 1 000 kg
Aplicación	Terapia médica

Véanse figs. 10 a 15

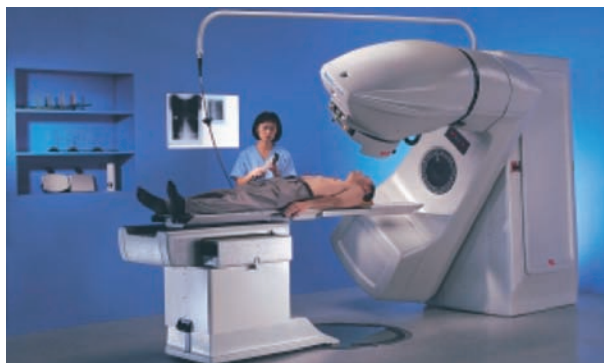


FIG. 10. Unidad moderna de teleterapia (foto: MDS Nordion).



FIG. 11. Unidad de teleterapia.

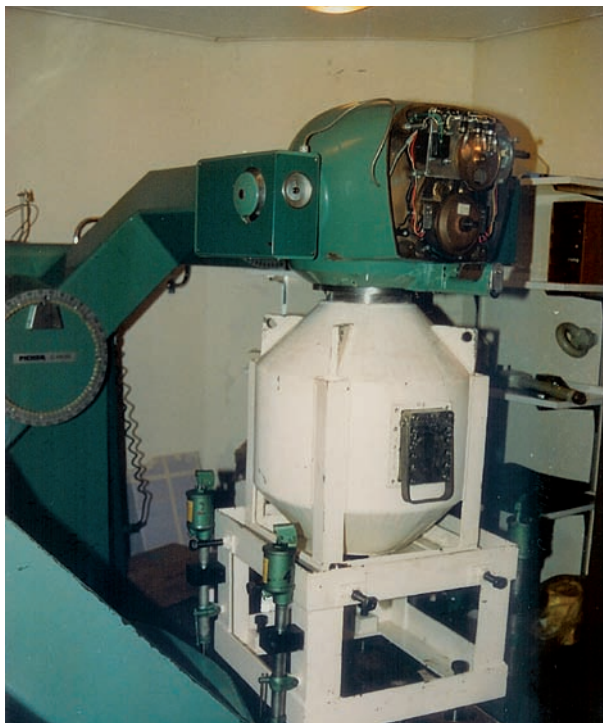


FIG. 12. Unidad de teleterapia con contenedor de intercambio de fuente (blanco) instalado.



FIG. 13. Unidad moderna de teleterapia (foto: BRIT).



FIG. 14. Cabezas obsoletos de teleterapia de ^{60}Co .



FIG. 15. Cabezas de teleterapia dañados de ^{60}Co o ^{137}Cs .

Descripción de uso

Estos dispositivos suelen tener una fuente única de ^{60}Co . Se utilizan para la terapia del cáncer mediante la proyección de un haz de radiación de alta energía centrado en el tumor.

La fuente radiactiva se encuentra asegurada en la caja fuertemente blindada situada al final del brazo giratorio. El haz de radiación de la fuente queda al descubierto cuando se abre la ventana durante el uso.

La caja blindada puede desmontarse del brazo giratorio, y transportarse a un lugar especializado para la sustitución de la fuente agotada, o la transferencia de la fuente puede efectuarse in situ utilizando un contenedor de

transporte especial para entregar e instalar la nueva fuente y extraer la fuente agotada en una sola operación.

Entorno operativo típico

Estos dispositivos se instalan en muchas unidades de terapia del cáncer de hospitales de todo el mundo.

La unidad en sí se utiliza en una instalación blindada para prevenir que el haz de radiación afecte a quienes se encuentran fuera de la sala, y la instalación normalmente tendría un acceso estrictamente controlado.

Debido a la muy alta actividad de las fuentes empleadas, sólo puede realizar estas operaciones personal muy capacitado con equipo blindado muy especializado.

Cuando las unidades se clausuran, la caja blindada, completa con la fuente, a veces se extrae y almacena y el resto de la unidad se transforma en chatarra.

La alta actividad de las fuentes utilizadas hace que estas fuentes sean algunos de los dispositivos más potencialmente peligrosos.

Fuentes

Actividad de la fuente: hasta 370 TBq (10 kCi) de ⁶⁰Co.

Se ha suministrado un número estrictamente limitado de equipos con fuentes de ¹³⁷Cs.

5.3. IRRADIADOR DE SANGRE

Categoría de dispositivo	1: Extremadamente peligroso para la persona si no se controla correctamente
Intervalo típico de dimensiones	1 m de largo × 1 m de ancho × 1,5 m de alto
Intervalo típico de masas	1 500 a 3 500 kg
Aplicación	Médica; irradiación de sangre

Véanse figs. 16 a 19



FIG. 16. Irradiador de sangre típico (foto: MDS Nordion).



FIG. 17. Sobreenvase de cavidad blindada para el transporte de irradiador de sangre (foto: MDS Nordion).



FIG. 18. Irradiador de sangre (foto: BRIT).



FIG. 19. Irradiador de sangre de modelo más antiguo.

Descripción de uso

Estos dispositivos se utilizan para el tratamiento de la sangre y constan de una cámara blindada con una cavidad en que se coloca una muestra de sangre en una bolsa de 2 L de capacidad aproximadamente. La muestra entra en la cavidad a través de una puerta o cámara con enclavamientos para eliminar la posibilidad de exposición del operador a la radiación.

La cámara blindada se encuentra dentro de un gabinete de tipo clínico.

Estos dispositivos suelen tener sistemas de control electrónico para asegurar el tiempo correcto de exposición y, por ende, la dosis administrada a una muestra.

Entorno operativo típico

Estos dispositivos se emplean por lo general en hospitales para el tratamiento de la sangre.

La fuente o las fuentes se encuentran en su totalidad dentro de la cámara blindada y por lo general no pueden extraerse sin desmantelar el dispositivo. Ello puede hacerse sólo en una instalación blindada dedicada a ese fin con equipo especializado y personal capacitado.

Las cámaras blindadas se transportan normalmente, con las fuentes cargadas previamente, del fabricante al usuario en un silo o sobreenvase de transporte especial. Cuando las fuentes se agotan, se devuelven al fabricante para su mantenimiento y sustitución, también en un sobreenvase de transporte especial.

Fuentes

Actividad típica de la fuente: 250 TBq (7 kCi) de ^{137}Cs ; hasta 25 TBq (7 kCi) de ^{60}Co .

**5.4. EQUIPO DE TELETERAPIA DE HACES MÚLTIPLES
(CUCHILLO GAMMA)**

Categoría de dispositivo	1: Extremadamente peligroso para la persona si no se controla correctamente
Intervalo típico de dimensiones	Cabezal esférico blindado que contiene las fuentes: esferoide de 1,8 a 2 m de diámetro; Unidad completa: 4 a 5 m de largo × 2 m de ancho × 2,5 m de alto
Intervalo típico de masas	Aprox. 20 000 kg
Aplicación	Terapia médica
Véanse figs. 20, 21	



FIG. 20. Cuchillo gamma típico (foto: Elekta).



FIG 21. Sistema de recarga de cuchillo gamma típico (foto: Elekta).

Descripción de uso

Estos dispositivos normalmente tienen una matriz de aproximadamente 200 fuentes de ^{60}Co que se encuentra dentro de un dispositivo esferoide blindado. Una unidad de control permite que los haces colimados de las fuentes seleccionadas en la matriz se centren en zonas de tratamiento bien definidas. Los dispositivos se emplean para procedimientos médicos mediante los cuales la zona enfocada en la intersección de los haces de radiación se utiliza para causar lesiones en las células de los tumores. El procedimiento se aplica por lo general en casos de cáncer del cerebro y otros trastornos cerebrales.

Los dispositivos suelen denominarse cuchillos gamma.

Entorno operativo típico

Los dispositivos están instalados en unidades hospitalarias especializadas de radiocirugía.

La propia unidad se utiliza en una instalación blindada para prevenir que la radiación dispersa afecte a quienes se encuentran fuera de la sala, y la instalación normalmente tendría un acceso estrictamente controlado.

Las fuentes se cargan generalmente en el recipiente esferoide blindado una vez que se instala el equipo, utilizando una celda blindada especial para manipular las fuentes. La celda blindada y el cofre que contiene las fuentes se expiden por separado. Las fuentes agotadas se descargan del equipo y se devuelven al fabricante para su reciclaje o disposición final.

En la actualidad hay relativamente pocas unidades instaladas debido al carácter sumamente especializado del tratamiento y el costo del equipo.

Fuentes

Actividad típica de la fuente: unas 200 fuentes, cada una de hasta 1,1 TBq (30 Ci) de ^{60}Co .

5.5. IRRADIADOR DE MUESTRAS A PEQUEÑA ESCALA

Categoría de dispositivo

1: Extremadamente peligroso para la persona si no se controla correctamente

Intervalo típico de dimensiones

1,5 m de largo \times 1,5 m de ancho \times 2 m de alto

Intervalo típico de masas

1 000 a 6 000 kg

Aplicación

Investigación; irradiación de materiales

Véanse figs. 22 a 24



FIG. 22. Irradiador de muestras típico (foto: BRIT).



FIG. 23. Irradiador de muestras típico.



FIG. 24. Irradiador de muestras suministrado a escuelas y establecimientos docentes.

Descripción de uso

Estos dispositivos suelen tener una o más fuentes de ^{60}Co .

El dispositivo consta de una cámara blindada con la fuente o las fuentes radiactivas instaladas permanentemente. Las muestras que se someterán a irradiación se cargan en la cámara a través de una puerta giratoria blindada o un acceso con enclavamientos para prevenir toda posibilidad de exposición accidental del operador.

La cámara blindada se encuentra dentro de un gabinete de tipo clínico.

Los dispositivos modernos suelen tener un sistema de control electrónico que garantiza el tiempo de exposición correcto y, por tanto, la dosis administrada a una muestra.

Entorno operativo típico

Estos dispositivos se emplean por lo general en laboratorios de investigación, aunque normalmente se suministraban tipos más pequeños a escuelas y establecimientos docentes de algunos países.

Los dispositivos se utilizan para la irradiación de muestras de tejido, materia vegetal y otros materiales.

La fuente o las fuentes se encuentran en su totalidad dentro de la cámara blindada y en general es imposible extraerlas sin dismantelar el dispositivo. Ello sólo puede hacerse dentro de una instalación blindada dedicada a ese fin con equipo especializado y personal capacitado.

Los dispositivos se expiden normalmente, con las fuentes cargadas previamente, del fabricante al usuario en un sobreenvase especial. Cuando las fuentes se agotan, se devuelven al fabricante para mantenimiento y sustitución, también en un sobreenvase de transporte especial.

Fuentes

Actividad típica de la fuente: 70 TBq (2 kCi) a 900 TBq (25 kCi) de ^{60}Co .

5.6. IRRADIADOR DE SEMILLAS

Categoría de dispositivo

1: Extremadamente peligroso para la persona si no se controla correctamente

Intervalo típico de dimensiones

1,5 m de largo \times 1,5 m de ancho \times 2 m de alto cuando se desmonta del dispositivo de transporte

Intervalo típico de masas

3 000 a 6 000 kg cuando se desmonta del
dispositivo de transporte

Aplicación

Agrícola – irradiación de materias vegetales

Véanse figs. 25 a 27

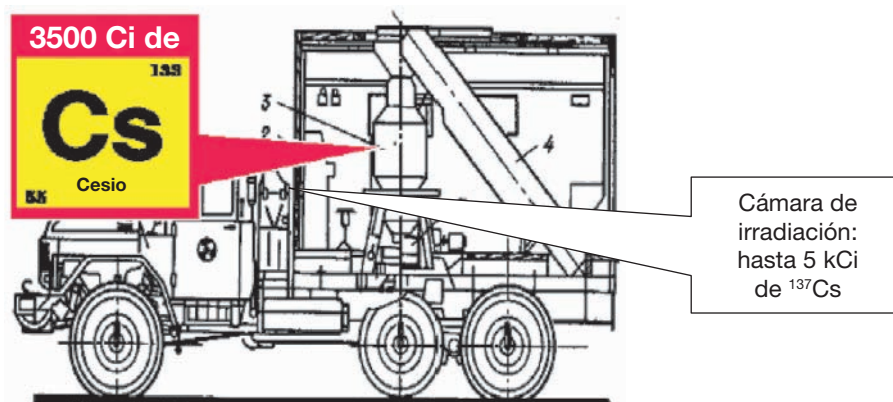


FIG. 25. Esquema de un irradiador de semillas en un camión



FIG. 26. Irradiadores de cesio móviles en la antigua Unión Soviética con un contenido de 3 500 Ci de cesio.



FIG. 27. Detalle de un irradiador de semillas.

Descripción de uso

Estos dispositivos suelen tener una o más fuentes de ^{137}Cs o a veces de ^{60}Co .

Las semillas se irradian pasándolas a través de una unidad blindada, y cargada con una o más fuentes gamma.

Un sistema “transportador” rudimentario lleva las semillas a través del irradiador.

Entorno operativo típico

Estos dispositivos se utilizaron principalmente en la antigua Unión Soviética hasta fines de los años setenta para la irradiación de semillas con el fin de aumentar el rendimiento de los cultivos y demorar la germinación del cereal cosechado. El dispositivo de irradiación se montaba en un camión con el equipo de tratamiento conexo. Este tipo de dispositivos se suministraba a los laboratorios de investigación agrícola y se transportaba a distintos lugares para

realizar el trabajo de irradiación. Consiste en un contenedor blindado que aloja las fuentes radiactivas, con un punto de entrada y salida para que las semillas pasen continuamente. Los puntos de entrada y salida tienen forma de laberinto para evitar un camino fácil de la radiación hacia el exterior.

La fuente o las fuentes se encuentran en su totalidad dentro de la cámara blindada y normalmente es imposible extraerlas sin desmantelar el dispositivo. Ello puede hacerse sólo en una instalación blindada dedicada a ese fin con equipo especializado y personal capacitado.

Los dispositivos se montaban por lo general en camiones para conseguir su movilidad, pero la irradiación de semillas ya no se efectúa utilizando estos tipos de dispositivos móviles. No se conoce el número de dispositivos de esta clase que se suministró originalmente; los registros indican que son relativamente pocos los dispositivos que han sido clausurados en firme. Se considera que puede haber muchos dispositivos huérfanos. Las cámaras de irradiación y el equipo conexo pueden ser desmontados de los camiones.

Fuentes

Actividad típica de la fuente nueva: hasta 185 TBq (5 kCi) de ^{137}Cs .

5.7. GENERADORES TERMOELÉCTRICOS RADIOISOTÓPICOS (RTG)

Categoría de dispositivo	1: Extremadamente peligroso para la persona si no se controla correctamente
Intervalo típico de dimensiones	1,5 m de largo × 1,5 m de ancho × 1,5 m de alto
Intervalo típico de masas	500 a 1 000 kg
Aplicación	Generación de electricidad
Véanse figs. 28 a 33	



FIG. 28. Generador termoeléctrico radioisotópico.

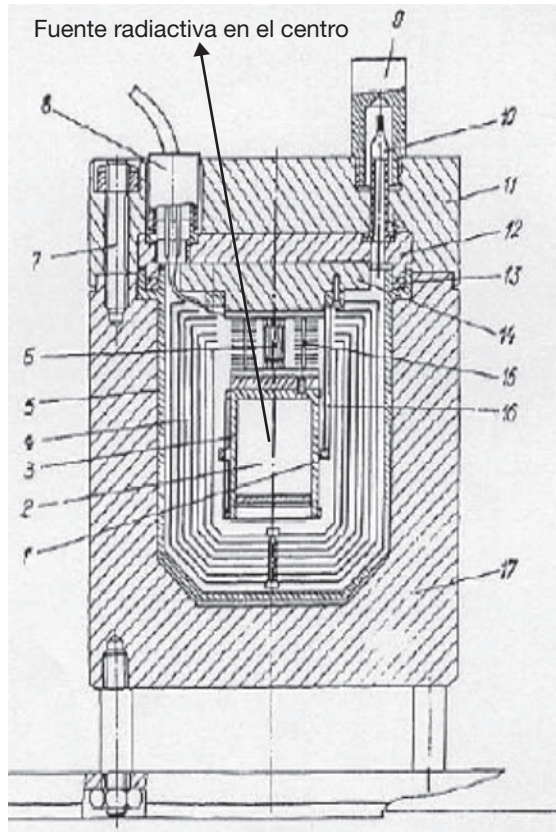


FIG. 29. Esquema de un generador termoeléctrico radioisotópico de ^{90}Sr .



FIG. 30. Generador termoeléctrico radioisotópico.



FIG. 31. Generador termoeléctrico radioisotópico.



FIG. 32. Generador termoeléctrico radioisotópico.



FIG. 33. Marcapasos alimentado por generador termoeléctrico radioisotópico.

Descripción de uso

Estos dispositivos suelen tener fuentes de ^{238}Pu o ^{90}Sr .

Se utilizan para la generación de electricidad en lugares distantes donde no puede suministrarse electricidad a base de los métodos normales de generación. Funcionan con la energía térmica derivada de la absorción de radiación de la fuente radiactiva para generar electricidad mediante un dispositivo de pares térmicos. Hay tres aplicaciones fundamentales:

- 1) *Viajes espaciales:* Las sondas y satélites espaciales a larga distancia utilizan a menudo los RTG (que contienen normalmente ^{238}Pu) para suministrar energía a los instrumentos o evitar su congelación. La disposición de las sondas espaciales y de la tecnología conexas hace que raras veces puedan encontrarse.
- 2) *Marcapasos:* Hasta los años setenta se utilizaron RTG muy pequeños basados en fuentes de ^{238}Pu para suministrar energía permanente. La tecnología de baterías mejorada y las preocupaciones por la seguridad y los intereses de carácter reglamentario los han hecho obsoletos. Por su baja actividad, estos dispositivos suscitan poca preocupación.
- 3) *Generación de energía en lugares distantes:* Los RTG se utilizaron para alimentar luces y radiobalizas en marcas de navegación, principalmente en zonas del Ártico y también para dispositivos de escucha submarinos con fines militares. Estos dispositivos suelen contener una fuente de gran energía de ^{90}Sr (hasta 1,85 PBq o 50 kCi).

Entorno operativo típico

Los dispositivos que causan más preocupación son los RTG de gran potencia alimentados por ^{90}Sr . Muchos de ellos se instalaron en torno a las distantes líneas costeras del Canadá y la antigua Unión Soviética. Sin embargo, han caído en desuso a medida que la navegación por satélite los ha hecho obsoletos. Aunque hay un amplio programa destinado a recuperarlos y clausurarlos, algunos aún están perdidos.

El RTG de ^{90}Sr consiste en un blindaje de acero con aletas de refrigeración en el exterior y en la fuente de ^{90}Sr que contiene. La fuente puede extraerse del blindaje en una instalación blindada especializada por personal capacitado. El componente de generación de electricidad se encuentra efectivamente dentro del blindaje.

El RTG se asocia normalmente con el equipo para el cual se requiere la electricidad (para iluminación o una baliza), aunque se considera que muchos

pueden haber sido parcialmente desmantelados, y que el dispositivo blindado haya quedado separado del resto de la unidad.

En un caso, la unidad blindada de un RTG se halló parcialmente desmantelada, sin la fuente radiactiva. La fuente fue recuperada, desprovista de blindaje, a cierta distancia. Supuestamente el dispositivo fue desmantelado por un recogedor de chatarra.

De todas las fuentes y dispositivos radiactivos, se considera que éstos suscitan gran preocupación debido al número que no ha sido contabilizado, su ubicación distante e insegura y su alto contenido radiactivo.

Notas

Los RTG de marcapasos tienen una actividad relativamente baja y es poco probable que puedan encontrarse, como tampoco los RTG utilizados para la exploración del espacio.

Fuentes

Actividad típica de la fuente: 1,85 PBq (50 kCi) de ⁹⁰Sr para generación de energía terrestre.

110 GBq (3 Ci) de ²³⁸Pu para marcapasos.

5.8. TAPÓN CIEGO DE Sonda GAMMA PARA DIAGRAFÍA DE POZOS

Categoría de dispositivo	2: Muy peligroso para la persona si no se controla correctamente
Intervalo típico de dimensiones	20 a 60 mm de diámetro × 100 a 150 mm de largo
Intervalo típico de masas	500 a 1 000 g
Aplicación	Industrial; exploración y producción de petróleo
Véanse figs. 34, 35	



FIG. 34. Tapón ciego de fuente típico para diagrfia de pozos de ^{137}Cs (foto: Schlumberger).



FIG. 35. Blindaje típico de fuente de ^{137}Cs para diagrfia de pozos (contenedor de transporte), 37 kg \times 170 mm de diámetro \times 210 mm de largo (foto: Schlumberger).

Descripción de uso

Estos dispositivos normalmente tienen una fuente única de ^{137}Cs . La diagrfia de pozos consiste en tomar varias mediciones geofísicas en pozos para evaluar su rendimiento y viabilidad en la exploración y producción. Las fuentes gamma se utilizan para medir la densidad de los estratos de roca alrededor de la perforación de un pozo de petróleo mediante la medición de la retrodispersión.

La propia fuente suele estar construida con metal anticorrosivo de alta resistencia. Normalmente se monta o se funde en un tapón ciego, que puede actuar como colimador de la radiación y brinda protección adicional a la fuente en el entorno del fondo de la perforación. También puede agregarse a instrumentos afines.

La fuente y el tapón ciego son de construcción muy sólida para soportar las altas presiones externas, las temperaturas y los medios corrosivos en la profundidad de los pozos.

El tapón ciego a su vez se monta en una matriz tubular de instrumentos que se hace descender al pozo de petróleo.

La matriz de instrumentos puede hacerse descender al pozo de petróleo en un cable resistente que soporte el peso de los instrumentos y permita que se transmitan señales a la superficie para su registro y evaluación, o como parte de un cañón de perforación petrolífera, caso en que las señales se almacenan dentro de los instrumentos y se leen cuando se hacen regresar a la superficie. A veces se emplea un sistema de telemetría más complejo para transmitir las lecturas a la superficie mientras se realiza la perforación.

Entorno operativo típico

Los tapones ciegos se utilizan ampliamente en la industria petrolera. Se transportan por las empresas de perforación de pozos de petróleo y pueden hallarse en bases operacionales de sociedades y en emplazamientos de pozos de petróleo. Cuando no se estén utilizando deben almacenarse en recintos cercados seguros.

El tapón ciego se almacena en un contenedor de almacenamiento y transporte blindado dedicado a ese fin hasta que se vaya a utilizar. Justo antes de hacerlo descender al pozo de petróleo se traslada a la matriz de instrumentos, quedando así al descubierto la radiación de la fuente, sin blindaje, brevemente. En ese momento se establece una zona controlada alrededor del tapón ciego para prevenir la exposición del personal.

En general, las fuentes y los tapones ciegos de diagrafía de pozos están bien controlados y hay pocos casos registrados de fuentes huérfanas, aunque su carácter móvil propicia considerablemente su robo o apropiación indebida.

La mayoría de las fuentes gamma de diagrafía de pozos contienen fuentes de ^{137}Cs , si bien se ha utilizado ^{60}Co en raras ocasiones. Los tapones ciegos tienen una amplia variedad de diseños.

Fuentes

Actividad típica de la fuente: 37 GBq (1 Ci) a 111 GBq (3 Ci) de ^{137}Cs cuando es nueva.

5.9. Sonda de neutrón para diagrafía de pozos

Categoría de dispositivo	2: Muy peligroso para la persona si no se controla correctamente
Intervalo típico de dimensiones	20 a 60 mm de diámetro × 100 a 200 mm de largo
Intervalo típico de masas	400 a 1 000 g
Aplicación	Industrial; exploración y producción de petróleo
Véanse figs. 36 a 42	



FIG. 36. Fuente de neutrón típica de $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ para diagrafía de pozos.



FIG. 37. Fuente de neutrón típica de $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ para diagrafía de pozos, dañada durante su uso ordinario.



FIG. 38. Fuente de neutrón típica de $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ para diagrafía de pozos.



FIG. 39. Fuente de neutrón típica de $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ para diagrafía de pozos.



FIG. 40. Fuente de neutrón típica de $^{238}\text{Pu}/\text{Be}$ para diagrafía de pozos.



FIG. 41. Contenedores de transporte y almacenamiento típicos de fuentes de neutrones para diagrfia de pozos.



FIG. 42. Contenedor de transporte y almacenamiento típico de fuentes de neutrones para diagrfia de pozos.

Descripción de uso

Estos dispositivos suelen tener una fuente de neutrones única de $^{241}\text{Am}/\text{Be}$. También se fabricó un pequeño número de unidades de material de fisión espontánea de $^{238}\text{Pu}/\text{Be}$ o ^{252}Cf , pero ya están en gran parte obsoletas.

La diagrfia de pozos consiste en tomar varias mediciones físicas en pozos de petróleo para evaluar su rendimiento y viabilidad en la exploración y producción. Las fuentes de neutrones se utilizan para medir los niveles de

hidrógeno en los estratos de roca en torno a la perforación de un pozo mediante la medición de la retrodispersión. Esta medición unida a otras da una indicación de la presencia de hidrocarburos.

La propia fuente suele estar construida con metal anticorrosivo de alta resistencia. Normalmente se monta o se funde en un tapón ciego, lo que brinda protección adicional a la fuente en el entorno del fondo de la perforación. También puede agregarse a instrumentos afines.

La fuente y el tapón ciego son de construcción muy sólida para soportar las altas presiones externas, las temperaturas y los medios corrosivos en la profundidad de los pozos.

El tapón ciego a su vez se monta en una matriz tubular de instrumentos que se hace descender al pozo de petróleo.

La matriz de instrumentos puede hacerse descender al pozo de petróleo en un cable resistente que soporte el peso de los instrumentos y permita que se transmitan señales a la superficie para su registro y evaluación, o como parte de un cañón de perforación petrolífera, caso en que las señales se almacenan dentro de los instrumentos y se leen cuando se hacen regresar a la superficie. A veces se emplea un sistema de telemetría más complejo para transmitir las lecturas a la superficie mientras se realiza la perforación.

Entorno operativo típico

Los tapones ciegos se utilizan ampliamente en la industria petrolera. Se transportan por las empresas de diagráfia de pozos y pueden hallarse en bases operacionales empresariales y en emplazamientos de pozos de petróleo. Se conservan en zonas de almacenamiento provistas de seguridad.

El tapón ciego se almacena en un lugar blindado dedicado a ese fin y en un contenedor de transporte hasta que se vaya a utilizar. Justo antes de hacerlo descender al pozo de petróleo se traslada a la matriz de instrumentos, quedando así al descubierto la radiación de la fuente, sin blindaje, por un breve período. En ese momento se establece una zona controlada alrededor del tapón ciego para prevenir la exposición del personal.

En general, las fuentes y los tapones ciegos de diagráfia de pozos están bien controlados y hay pocos casos registrados de fuentes huérfanas, pero su carácter móvil propicia considerablemente su robo o apropiación indebida.

Aunque la diagráfia de pozos se utiliza en las mismas aplicaciones que la diagráfia gamma, el tapón ciego de Am/Be ha sido sustituido en gran medida por los generadores de neutrones que no son fuentes selladas. Por lo tanto, hay muchas menos fuentes de neutrones de $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ en circulación que de ^{137}Cs .

Los tapones ciegos tienen diversidad de diseños. En algunos casos, la fuente y el tapón ciego son efectivamente la misma unidad, es decir, la propia

fuelle sellada forma el tapón ciego, y está hecha de material anticorrosivo de gran resistencia con los accesorios necesarios para colocarla en la unidad de instrumentación.

Fuentes

Actividad típica de la fuente: 74 GBq (2 Ci) a 740 GBq (20 Ci) de $^{241}\text{Am/Be}$.

Ocasionalmente de $^{238}\text{Pu/Be}$ o ^{252}Cf .

5.10. PROYECTOR DE GAMMAGRAFÍA

Categoría de dispositivo

2: Muy peligroso para la persona si no se controla correctamente

Intervalo típico de dimensiones

Unidades de ^{192}Ir , ^{75}Se : 350 mm de largo × 200 mm de ancho × 240 mm de alto;
Unidades de ^{60}Co : hasta 900 mm de largo × 900 mm de ancho × 900 mm de alto

Intervalo típico de masas

Unidades de ^{192}Ir , ^{75}Se : 8 a 35 kg;

Unidades de ^{60}Co : 100 a 200 kg

Aplicación

Radiografía industrial móvil en fábricas y construcción

Véanse figs. 43 a 56



FIG. 43. Proyector moderno típico de gammagrafía portátil (foto: QSA-GLOBAL).



FIG. 44. Proyector moderno típico de gammagrafía portátil (foto: MDS Nordion).



FIG. 45. Proyector moderno típico de gammagrafía de peso ligero (para ^{75}Se) (foto: MDS Nordion).



FIG. 46. *Proyector moderno típico de gammagrafía portátil (foto: BRIT).*



FIG. 47. *Proyector moderno típico de gammagrafía portátil (foto: QSA-GLOBAL).*



FIG. 48. *Proyector típico reemplazado de gammagrafía de ^{60}Co (foto: NE- Seibersdorf).*

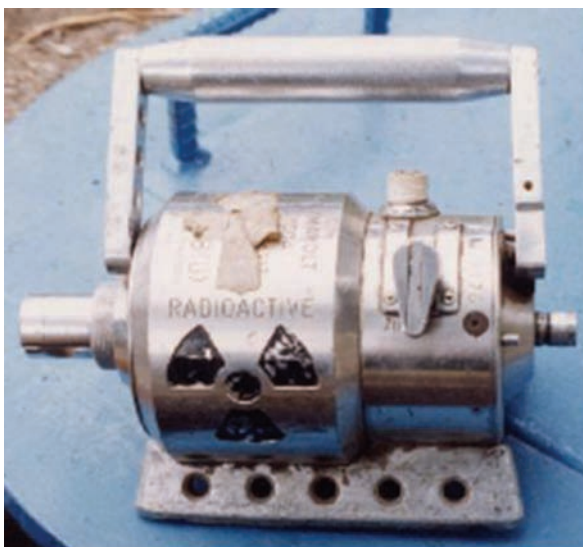


FIG. 49. Proyector moderno típico de gammagrafía portátil (foto: NE- Seibersdorf).



FIG. 50. Contenedor típico de intercambio de fuentes (foto: QSA-GLOBAL).

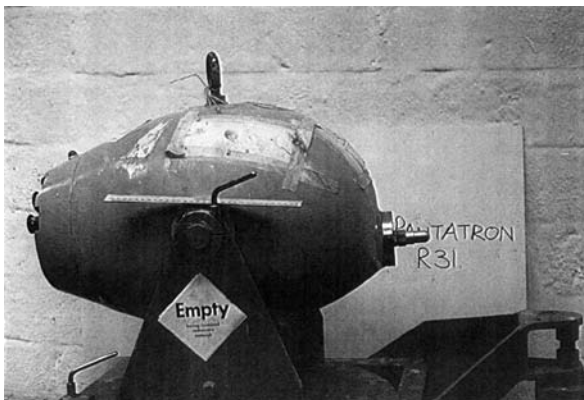


FIG. 51. Ejemplo de un proyector de gammagrafía reemplazado con exposición de la fuente mediante cable de control.



FIG. 52. Ejemplo de un proyector de gammagrafía sustituido con exposición manual de la fuente (foto: NE-Seibersdorf).



FIG. 53. Dispositivo moderno típico de gammagrafía de ^{60}Co semiportátil (foto: MDS Nordion).



FIG. 54. Dispositivo moderno típico de gammagrafía de ^{60}Co semiportátil (foto: QSA-GLOBAL).

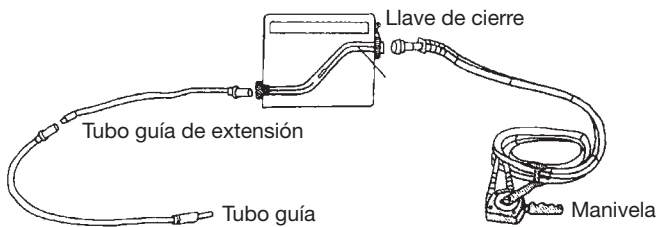


FIG. 55. Guía de radiografía.

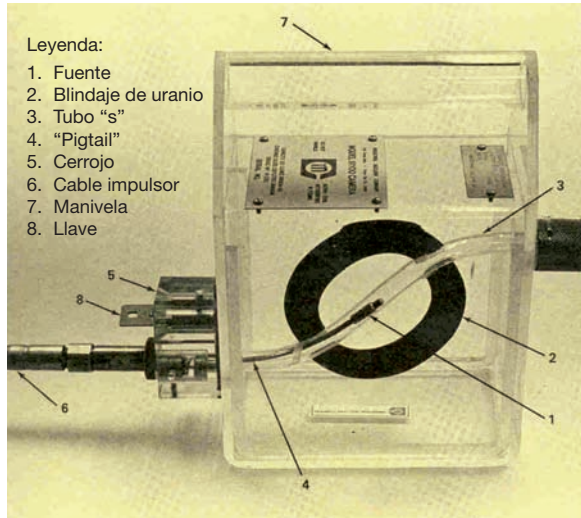


FIG. 56. Guía de radiografía (imagen transparente).

Descripción de uso

Estos dispositivos tienen en su mayoría fuentes gamma de ^{192}Ir , aunque también tienen fuentes ^{75}Se , ^{169}Yb and ^{60}Co y en muy contadas ocasiones, de ^{137}Cs . Estos dispositivos se utilizan para la radiografía de estructuras mecánicas. Contienen una fuente única unida a un cable flexible que puede quedar al descubierto cerca del objeto que se radiografía. Detrás del objeto se coloca una película radiográfica que queda expuesta a los rayos gamma que penetran el objeto. En la imagen de la película aparecen las variaciones de densidad del objeto radiografiado.

Los dispositivos también suelen conocerse como cámaras radiográficas, y también como proyectores de radiografía o simplemente proyectores.

Estos dispositivos se encuentran entre los más potencialmente peligrosos, ya que el uso eficaz del dispositivo depende de cómo la fuente se traslade del blindaje del contenedor y se ponga al descubierto en una zona abierta.

Todos los usuarios de equipo de radiografía están muy capacitados y regulados en el establecimiento de zonas controladas para prevenir el acceso del público y protegerse mientras la fuente está al descubierto.

Hay dos tipos principales de proyectores de radiografía: los dispositivos muy portátiles de uso general, principalmente para la radiografía de soldaduras en estructuras metálicas; y los dispositivos semiportátiles, que normalmente tienen fuentes de radiación de ^{60}Co de mayor energía y, por tanto, más blindaje

que los hace más pesados y menos portátiles. No obstante, los principios de funcionamiento de ambos sistemas son semejantes.

La parte blindada de los dispositivos modernos consiste a menudo en uranio empobrecido, plomo o tungsteno, o en uranio empobrecido y tungsteno. En ella la fuente se almacena en un cable flexible dentro de un tubo en forma de “s” enfundado en el blindaje. El cable flexible se conoce como ‘pigtail’.

El tubo en forma de “s” tiene una conexión en cada extremo que tiene un cerrojo para impedir el acceso a la fuente cuando no está en uso.

Cuando la fuente se va a utilizar, se agrega al “pigtail” un cable flexible largo de control por medio de un adaptador colocado en un extremo del tubo “s”, y la fuente se empuja, en el extremo del cable flexible, para que salga del blindaje a lo largo de una vaina de proyección tubular flexible hueca y quede al descubierto para realizar la exposición radiográfica necesaria. El cable de control se acciona por lo general manualmente.

Entorno operativo típico

Los proyectores de radiografía se utilizan en muchos lugares, desde obras de ingeniería civil hasta fábricas, pero en general se utilizan por su peso relativamente ligero, movilidad y porque no requieren energía eléctrica, a diferencia de los conjuntos eléctricos de rayos X.

Por lo tanto, se transportan ordinariamente de un sitio a otro por personal en furgonetas y automóviles.

La mayoría de las fuentes de radiografía tienen un período de semidesintegración relativamente corto, y cuando se agotan, el propietario las sustituye por nuevas fuentes sin tener que enviar todo el proyector a una instalación especializada para cambiar la fuente. No obstante, los dispositivos suelen ser objeto de mantenimiento periódico por el fabricante o su agente aprobado. En el caso de los dispositivos “portátiles”, se utiliza un contenedor de transporte especial de tipo “intercambiador de fuente” para enviar la nueva fuente a un usuario, facilitar un cambio de fuente, y devolver la fuente agotada a un fabricante para su reciclaje o disposición final. En el caso de los dispositivos de ^{60}Co de actividad más alta, la unidad completa se suele enviar al fabricante del dispositivo para facilitar el cambio de fuente. Aunque el “intercambiador de fuente” es un contenedor de transporte, en esta sección se ilustra con ejemplos para mayor claridad.

Observaciones

Antes de que se estableciera el principio de funcionamiento basado en dejar al descubierto la fuente utilizando un cable de control a distancia, se

utilizaban sistemas en que la fuente se colocaba en un colimador blindado y se abría o extraía una ventana de extracción manual para que la fuente quedase al descubierto. Estos dispositivos ya no se utilizan, pero se dan ejemplos de ellos en esta sección.

Fuentes

Actividades máximas típicas de las fuentes:

- 5,5 TBq (150 Ci) de ¹⁹²Ir;
- 2,9 TBq (80 Ci) de ⁷⁵Se;
- 740 GBq (20 Ci) de ¹⁶⁹Yb;
- 370 GBq (10 Ci) de ⁶⁰Co;
- 370 GBq (10 Ci) de ¹³⁷Cs.

5.11. EQUIPO DE GAMMAGRAFÍA “CRAWLER” PARA INSPECCIÓN DE SOLDADURAS EN TUBERÍAS

Categoría de dispositivo	2: Muy peligroso para la persona si no se controla correctamente
Intervalo típico de dimensiones	800 a 1 500 mm de largo × 400 mm de ancho × 400 mm de alto
Intervalo típico de masas	50 a 100 kg
Aplicación	Radiografía industrial móvil en tuberías
Véanse figs. 57 a 59	



FIG. 57. Equipo de gammagrafía “crawler” típico para inspección de soldaduras en tuberías (foto: MDS Nordion).

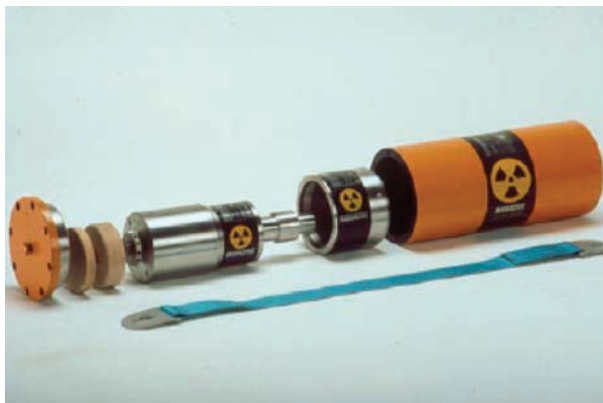


FIG. 58. Cabezal de fuente de equipo de gammagrafía “crawler” en contenedor de transporte (foto: MDS Nordion).



FIG. 59. Instalación de equipo de gammagrafía “crawler” para inspección de soldaduras en una tubería a descubierto (foto: MDS Nordion).

Descripción de uso

Estos dispositivos tienen principalmente fuentes gamma únicas de ^{192}Ir , aunque también puede utilizarse ^{75}Se . Los dispositivos se emplean exclusivamente para la radiografía de soldaduras en tuberías selladas largas donde la fuente debe quedar expuesta en una posición precisa en relación con una soldadura de la tubería. El equipo de gammagrafía “crawler” es alimentado por baterías y se autopropulsa a lo largo de una tubería. Puede

detenerse por control remoto en la posición de una soldadura circunferencial de una tubería, y la fuente se extrae automáticamente de un blindaje para que la radiación quede expuesta. Alrededor de la parte externa de la tubería, en el lugar de la soldadura, se envuelve una película radiográfica, y los rayos gamma que atraviesan la tubería desde la fuente expuesta colocada dentro de la tubería impresionan la película. En la imagen de la película aparecen las variaciones de densidad del objeto radiografiado.

Todos los usuarios de equipo de radiografía están muy capacitados y regulados en el establecimiento de zonas controladas para prevenir el acceso del público y protegerse mientras la fuente está al descubierto.

Entorno operativo típico

El equipo de gammagrafía “crawler” se utiliza en la mayoría de las aplicaciones en que se requiere determinar la calidad de tuberías recientemente instaladas, o supervisar la degradación de tuberías antiguas, como en las industrias de transformación, petroquímicas y de distribución de gas.

Por lo tanto, se transportan ordinariamente de un sitio a otro por personal en furgonetas y automóviles.

La fuente se sostiene en un cabezal blindado que se transporta en un contenedor por separado y se agrega in situ al equipo de gammagrafía “crawler” antes de utilizarse.

En la mayoría de los casos, sólo cambia las fuentes el suministrador o el fabricante del equipo de gammagrafía “crawler” debido a la complejidad de la operación y al requisito de utilizar equipo de manipulación blindado especializado.

Fuentes

Actividades máximas típicas de la fuente: 5,5 TBq (150 Ci) de ¹⁹²Ir; 2,9 TBq (80 Ci) de ⁷⁵Se.

5.12. MEDIDORES DE ALTA ACTIVIDAD

Categoría de dispositivo	3: Peligroso para la persona si no se controla correctamente
Intervalo típico de dimensiones	200 a 400 mm de diámetro × 300 a 700 mm de largo
Intervalo típico de masas	20 a 400 kg
Aplicación	Control de procesos industriales
Véanse figs. 60 a 69	



FIG. 60. Soporte de fuente de calibración de ^{137}Cs (foto: Endress+Hauser).

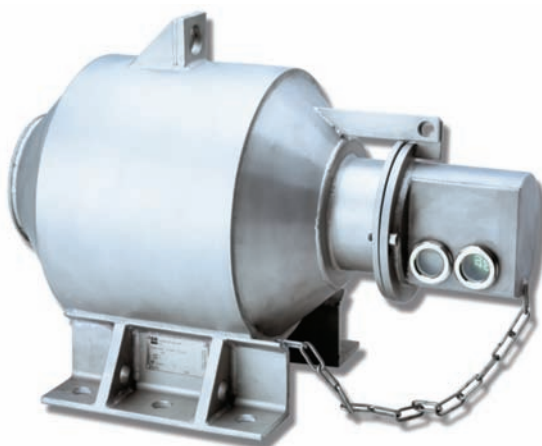


FIG. 61. Soporte de fuente de calibración de ^{60}Co (foto: Endress+Hauser).



FIG. 62. Varios contenedores de calibración gamma clausurados.



FIG: 63. Contenedor de fuente de calibración gamma.

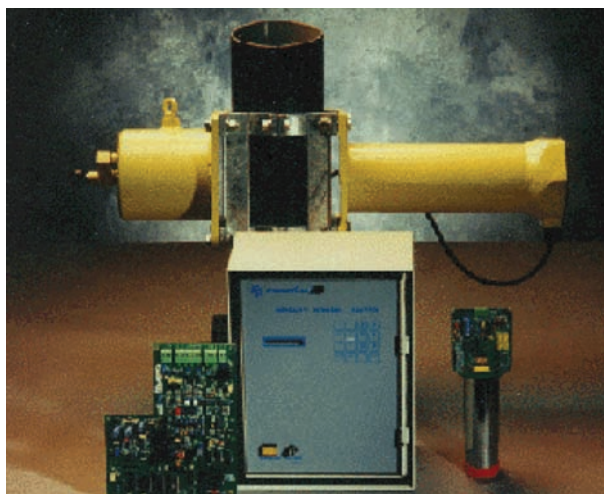


FIG. 64. Medidor de densidad gamma acoplado a una sección de tubo.



FIG. 65. Transmisor de densidad gamma compacto acoplado a una sección de tubo (foto: Endress+Hauser).



FIG. 66. Medidores de densidad de tuberías colocados en posición normal.



FIG. 67. Contenedor típico de fuente de calibración gamma.

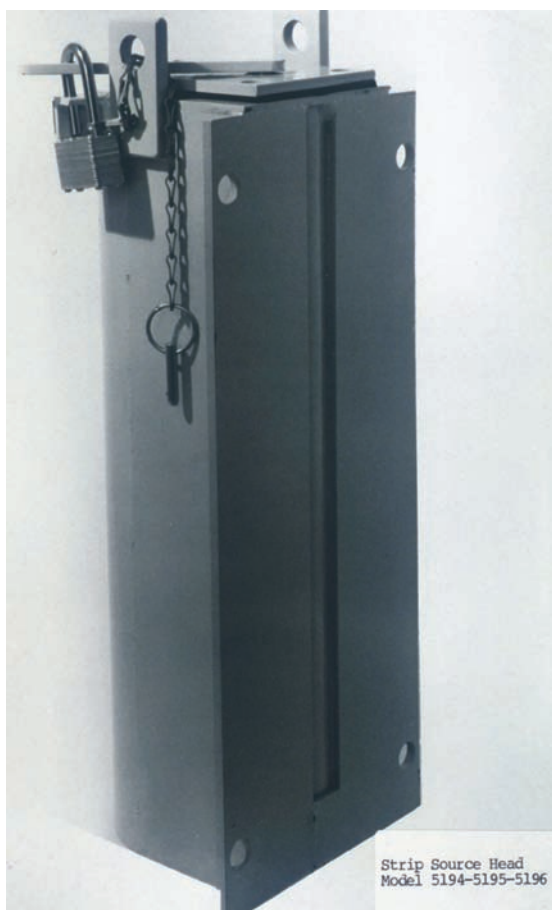


FIG. 68. Contenedor típico de fuente lineal (foto: NRC).



FIG. 69. Contenedor típico de fuente lineal (foto: NRC).

Descripción de uso

Estos dispositivos tienen principalmente fuentes de ^{137}Cs y ^{60}Co .

Los medidores de densidad y espesor miden el nivel de transmisión o la retrodispersión del haz de radiación que atraviesa el material o se refleja de éste. Por ejemplo, en las aplicaciones relacionadas con la medición del espesor, la transmisión de radiación gamma a través de una lámina de acero de densidad constante proveniente de una acería es proporcional al espesor del acero. La medición podrá utilizarse seguidamente para controlar el proceso.

De manera análoga, en una tubería por la que pasa una mezcla de fangos, el nivel de radiación retrodispersada es proporcional a la densidad de los fangos y, por tanto, su composición puede medirse.

Según el espesor o densidad del material que se vaya a medir, la energía necesaria de la radiación de la fuente varía y, por tanto, el peligro relativo de esa fuente. Los materiales más gruesos y densos requieren una radiación de alta energía, como se indica en esta sección. Los materiales más delgados y ligeros requieren radiación de más baja energía, como se especifica en la sección 5.13.

En estos sistemas, el dispositivo que contiene la fuente se denomina “contenedor de la fuente”, “caja de la fuente” o colimador. En el caso de los sistemas en que la fuente y el detector están incluidos en el mismo receptáculo, se denomina “sonda gamma” o “cabezal de medición”. También se utiliza generalmente el término “portafuente”. No obstante, es probable que se utilice de forma ambigua para referirse a todo el dispositivo que sostiene la fuente, o a un componente colocado dentro del dispositivo al que está acoplada la fuente.

Los dispositivos habitualmente consisten en una caja de acero pesada rellena de plomo, en cuyo centro se carga una sola fuente, y un dispositivo sencillo de tipo ventana, que se abre para revelar una apertura a través de la cual se transmite un haz de radiación.

En un número reducido de aplicaciones para la medición del nivel solamente puede utilizarse una matriz de fuentes o una sola fuente alargada. En las figs. 60 y 61 se pueden observar los dispositivos típicos empleados para colocar estas fuentes.

La ventana suele estar dotada de un candado para impedir el acceso no autorizado y a menudo consta de un accionador electromecánico o neumático que cierra automáticamente el dispositivo cuando el sistema de medición no está en uso.

Entorno operativo típico

Los medidores de densidad, espesor y nivel se utilizan de ordinario en muchas industrias de transformación, como las de transformación de minerales, las petroquímicas y la mayoría de tipos de operaciones de tratamiento. Están permanentemente montadas en vasijas de procesos, tuberías, tolvas, cintas transportadoras y plantas de tratamiento.

Las sondas gamma de alta energía se utilizan en el tratamiento de metales y minerales, así como en reactores de tratamiento químico. Las sondas gamma de baja energía se emplean para mediciones de espesor y densidad en listones plásticos, papel y otros materiales delgados. En la sección 5.13 se muestran medidores de baja energía.

Las más de las veces, la fuente se transporta al emplazamiento en el dispositivo, que también tiene licencia de contenedor de transporte. En algunos casos, se transporta en un sobreenvase que normalmente es una jaula de madera de embalaje industrial debidamente etiquetada.

Cuando la fuente se agota, todo el dispositivo normalmente se cambia in situ, y a continuación la fuente se descarga del dispositivo en una instalación especializada, de modo que es relativamente común que los dispositivos, tal como los que se ilustran, se expidan con la fuente en su interior.

Fuentes

Actividades típicas de las fuentes:

- ^{137}Cs 370 MBq (10 mCi) a 370 GBq (10 Ci);
- ^{60}Co 37 MBq (1 mCi) a 37 GBq (1 Ci).

5.13. SONDA GAMMA DE BAJA ENERGÍA DE DENSIDAD, ESPESOR Y NIVEL

Categoría de dispositivo	3: Peligroso para la persona si no se controla correctamente
Intervalo típico de dimensiones	200 a 400 mm de diámetro × 300 a 700 mm de largo
Intervalo típico de masas	20 a 50 kg
Aplicación	Control de procesos industriales
Véanse figs. 70, 71	



FIG. 70. Medidor de nivel de transmisión típico de ^{241}Am instalado en una sección de tubería.



FIG. 71. Medidor de nivel de llenado de ^{241}Am montado en una línea de llenado (foto: NRC).

Descripción de uso

Los medidores de densidad y espesor miden el nivel de transmisión o la retrodispersión del haz de radiación que atraviesa el material. Por ejemplo, la transmisión de radiación gamma a través de una lámina de metal de densidad conocida proveniente de un tren laminador es proporcional al espesor de la lámina de metal. La medición podrá utilizarse seguidamente para controlar el proceso.

Este tipo de medidores también puede utilizarse para controlar operaciones de llenado de receptáculos, donde el haz de radiación que atraviesa una lata o cartón se atenúa cuando el nivel de llenado pasa a través del haz.

Las sondas gamma de espesor y densidad de baja energía se emplean para mediciones de listones plásticos, papel y pequeños tubos de sonda portadores de fluidos. Los medidores de alta energía por lo general se utilizan en el tratamiento de metales y minerales. Pueden observarse en la sección 5.12.

Las características detalladas del dispositivo que sostiene la fuente suelen depender de la aplicación.

En estos sistemas, el dispositivo que contiene la fuente se conoce como contenedor de la fuente, caja de la fuente o colimador. En el caso de los sistemas en que la fuente y el detector están incluidos en el mismo receptáculo, se denomina “sonda gamma” o “cabezal de medición”. También se utiliza generalmente el término “portafuente”. No obstante, es probable que se utilice de forma ambigua para referirse a todo el dispositivo que sostiene la fuente, o a un componente colocado dentro del dispositivo al que está acoplada la fuente.

Los dispositivos habitualmente consisten en una caja de acero pesada con un blindaje de plomo o tungsteno para la fuente, que se carga en el centro, y un dispositivo sencillo de tipo ventana, que se abre para revelar una apertura a través de la cual se transmite un haz de radiación.

La ventana suele estar dotada de un candado para impedir el acceso no autorizado y a menudo consta de un accionador electromecánico que cierra automáticamente el dispositivo cuando el sistema de medición no está en uso.

Entorno operativo típico

Los medidores de densidad y espesor de baja energía se utilizan de ordinario en muchas industrias de laminado, como por ejemplo, en la elaboración de listones plásticos, láminas de metal y papel. También se usan para medir la densidad de los fluidos en las tuberías. Están montados permanentemente en laminadores y tuberías.

En muchos casos, el portafuente y el dispositivo de medición de la radiación están juntos en la misma unidad, que está montada en el tren laminador en que se efectúa la medición.

En la mayoría de los casos, la fuente se transporta al emplazamiento en el dispositivo, que también tiene licencia de contenedor de transporte. De lo contrario la fuente se transporta por separado y se acopla al medidor por un especialista capacitado.

Dado que el período de semidesintegración del ²⁴¹Am es largo, los cambios de fuentes durante la vida útil de la unidad son infrecuentes.

Fuentes

Actividades típicas de las fuentes: ²⁴¹Am 370 MBq (10 mCi) a 111 GBq (3 Ci).

5.14. SONDA BETA DE DENSIDAD Y ESPESOR

Categoría de dispositivo	4: Poco probable que sea peligroso para la persona
Intervalo típico de dimensiones	100 a 300 mm de largo × 100 a 300 mm de ancho × 100 a 300 mm de alto
Intervalo típico de masas	10 a 20 kg
Aplicación	Control de procesos industriales
Véanse figs. 72 a 74	



FIG. 72. Sonda beta instalada en un laminador de bobina (foto: Betarem).

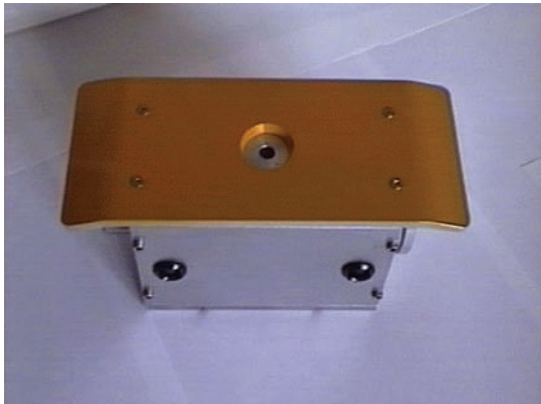


FIG. 73. Detalle de un soporte de fuente de medición beta (foto: Betarem).

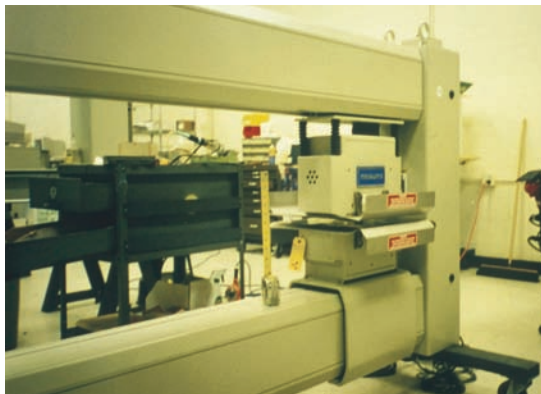


FIG. 74. Sonda beta instalada en un laminador de bobina (foto: NRC).

Descripción de uso

Estos dispositivos tienen en su mayoría fuentes de ^{90}Sr , ^{85}Kr y ocasionalmente de ^{147}Pm .

Los medidores de densidad y espesor miden el nivel de transmisión o la retrodispersión del haz de radiación que atraviesa el material. Por ejemplo, la transmisión de la radiación beta a través de una lámina de papel de densidad conocida proveniente de una prensa de papel es proporcional al espesor del papel. La medición podrá utilizarse seguidamente para controlar el proceso.

La fuente radiactiva se escoge según el espesor del material que se vaya a medir, a fin de optimizar las características de atenuación de la radiación. El ^{90}Sr se emplea para aplicaciones más espesas y densas, y se puede llegar a utilizar hasta el ^{147}Pm para los materiales más delgados y de menor densidad.

El procedimiento es similar a la medición gamma de espesor y densidad, pero se aplica para medir elementos más delgados o ligeros que aquellos para los que se emplean las sondas gamma.

En estos sistemas, el dispositivo que sostiene la fuente se conoce como colimador, blindaje o portafuente.

Los dispositivos suelen consistir en una caja de acero pequeña y pesada, con la fuente cargada en el centro, y un dispositivo tipo ventana sencillo, que se abre para revelar una apertura a través de la cual se transmite un haz de radiación beta.

La ventana suele estar dotada de un candado para impedir el acceso no autorizado y a menudo consta de un accionador electromecánico o neumático que cierra automáticamente el dispositivo cuando el sistema de medición no está en uso.

Entorno operativo típico

Las sondas beta de densidad y espesor se utilizan frecuentemente en los procesos en que hay que medir bobinas delgadas, como en la elaboración de papel, tejido o película plástica, o en mediciones de densidad baja, como la fabricación de cigarrillos.

A veces la fuente se transporta al emplazamiento en el dispositivo, que también puede tener licencia de contenedor de transporte.

Cuando la fuente se agota, normalmente puede ser cambiada in situ por personal capacitado, ya que los niveles de radiación son relativamente bajos.

Fuentes

Actividades máximas típicas de las fuentes:

^{90}Sr 370 MBq (10 mCi) a 3,7 GBq (100 mCi);

^{85}Kr 370 MBq (10 mCi) a 18,5 GBq (500 mCi);

^{147}Pm 3,7 GBq (100 mCi) a 18,5 GBq (500 mCi).

5.15. MEDIDOR DE HUMEDAD DE MATERIAL A GRANEL

Categoría de dispositivo	3: Peligroso para la persona si no se controla correctamente
Intervalo típico de dimensiones	300 a 1 000 mm de largo × 300 a 500 mm de ancho × 300 a 500 mm de alto
Intervalo típico de masas	10 a 1 000 kg
Aplicación	Control de procesos industriales
Véanse figs. 75, 76	

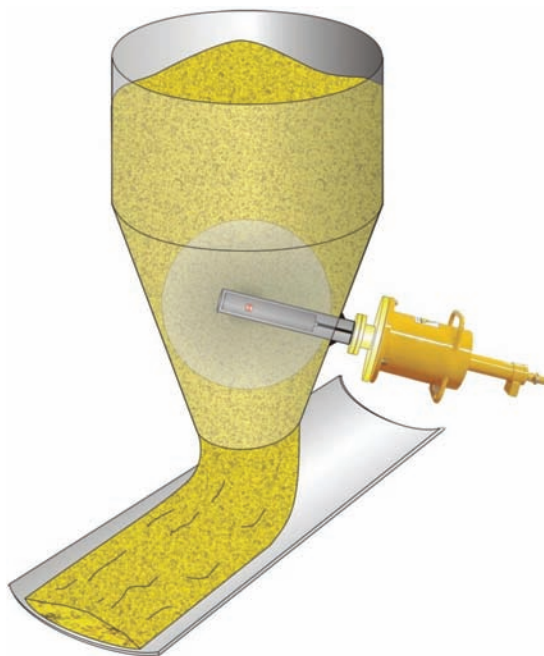


FIG. 75. Esquema de medidor de humedad de material a granel adaptado a un silo. La fuente se destaca en rojo en el silo (foto: Berthold Technologies).



FIG. 76. Dispositivo de medición de humedad de material a granel (foto: Berthold Technologies).

Descripción de uso

Los medidores de humedad miden el volumen de agua en un material que pasa a través de una cinta transportadora o una tubería de fangos, o en una tolva o silo, y miden la cantidad de radiación neutrónica que pasa entre la fuente y un detector. La radiación neutrónica se absorbe o modera ante la presencia de átomos ligeros (en este caso, los átomos de hidrógeno en el agua) y, por tanto, el contenido de agua en una mezcla de materiales conocidos puede deducirse midiendo la transmisión de neutrones que pasan a través de esa mezcla o se retrodispersan de ella.

Los dispositivos portafuente suelen consistir en una caja de acero pesada, con la fuente cargada en el centro, y blindaje neutrónico, que puede ser polietileno u otro tipo de material con alto contenido de hidrógeno. El dispositivo es del tipo sencillo de ventana, que se abre para revelar una apertura a través de la cual se transmite un haz de radiación. En la mayoría de los casos, el detector de neutrones se encuentra dentro del mismo dispositivo que la fuente.

En las tolvas y los silos, la fuente y el detector a menudo se hallan dentro de la propia tolva, cuyo contenido sirve de eficaz blindaje de la fuente.

La ventana por lo general está dotada de un candado para impedir el acceso no autorizado, y a menudo de un accionador electromecánico que cierra automáticamente el dispositivo cuando el sistema de medición no está en uso.

Entorno operativo típico

Los medidores de humedad se utilizan habitualmente en muchas industrias de transformación en que el contenido de humedad de los materiales a granel debe medirse continuamente, por ejemplo, el tratamiento de gravilla y troceados de madera y el tratamiento de fangos de carbón en la generación de energía.

Las más de las veces la fuente se transporta al emplazamiento en el dispositivo, que también tiene licencia de contenedor de transporte. En algunos casos, se transporta en un sobreenevase.

No es habitual que las fuentes tengan que cambiarse en los dispositivos dado su largo período de semidesintegración, de modo que normalmente se instalan por el fabricante en el dispositivo en un establecimiento especializado y se mantienen en el dispositivo hasta que éste se reemplaza o clausura. Las fuentes se transportan dentro del dispositivo.

Fuentes

Actividades típicas de las fuentes: ²⁴¹Am/Be 1,8 GBq (50 mCi) a 18,5 GBq (500 mCi).

5.16. MEDIDOR DE HUMEDAD/DENSIDAD DEL SUELO

Categoría de dispositivo	4: Poco probable que sea peligroso para la persona
Intervalo típico de dimensiones	Dispositivo: 200 mm de largo × 300 mm de ancho × 1 000 mm de alto (con manivela en posición de funcionamiento); Caja de transporte: 800 mm de largo × 400 mm de ancho × 300 mm de alto
Intervalo típico de masas	Dispositivo: 30 kg Dispositivo en caja de transporte: 40 kg
Aplicación	Ingeniería civil, construcción de caminos y agricultura
Véanse figs. 77, 78	



FIG. 77. Medidor típico de humedad y densidad, junto con su caja de transporte (foto: TGroxler Labs).



FIG. 78. Medidor típico de humedad y densidad del suelo, junto con su caja de transporte (foto: CPN International).

Descripción de uso

Estos dispositivos tienen dos tipos de fuentes de radiación juntas: una fuente gamma de alta energía de ^{137}Cs de aproximadamente 40 MBq (1 mCi) y una fuente de neutrones de $^{241}\text{Am/Be}$ de aproximadamente 2 GBq (55 mCi).

Los dispositivos son portátiles y normalmente se utilizan para medir la densidad y el contenido de humedad del suelo y los materiales de construcción. La densidad se determina midiendo la cantidad de radiación retrodispersada de la fuente gamma, y el contenido de humedad se deduce a base de la medición gamma y de una medición de la cantidad de radiación neutrónica retrodispersada.

Las fuentes se encuentran en una unidad blindada dentro del dispositivo, que suele estar hecho de plomo y polietileno. Cuando se utilizan, se dejan al descubierto abriendo una ventana que permite que los haces de radiación colimados se dirijan hacia el suelo. La ventana se cierra cuando el dispositivo no está en uso.

Entorno operativo típico

Los dispositivos se emplean de ordinario en las industrias de construcción y agrícola de muchos países. Son portátiles y normalmente se transportan en cajas de transporte que les sirven de protección.

Las fuentes suelen conservarse dentro de su blindaje con algún tipo de tornillos amortiguadores o un fijador permanente, y no se cambian normalmente durante la vida útil del dispositivo.

Por su forma de empleo en los sitios de construcción y las tierras agrícolas, estos dispositivos tienen una probabilidad relativamente alta de ser robados o perderse. No obstante, el nivel de riesgo es muy reducido porque la actividad de las fuentes es baja y están bien protegidas en las unidades.

Fuentes

Actividades máximas típicas de la fuente:

¹³⁷Cs 370 MBq (10 mCi);
²⁴¹Am/Be 1,9 GBq (50 mCi).

5.17. ANALIZADOR DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X

Categoría de dispositivo	5: Muy poco probable que sea peligroso para la persona
Intervalo típico de dimensiones	Manipulación manual: 200 mm de largo × 100 mm de ancho × 100 mm de alto; Laboratorio y control de procesos: 500 mm de largo × 500 mm de ancho × 1 500 mm de alto
Intervalo típico de masas	Manipulación manual: 1 a 2 kg Laboratorio y control de procesos: 20 a 100 kg
Aplicación	Análisis industrial

Véanse figs. 79 a 82



FIG. 79. Dispositivo manual típico de análisis por rayos X (foto: Spectro).



FIG. 80. Dispositivos manuales típicos de análisis por rayos X (foto: Thermo).



FIG. 81. Analizador XRF de banco.

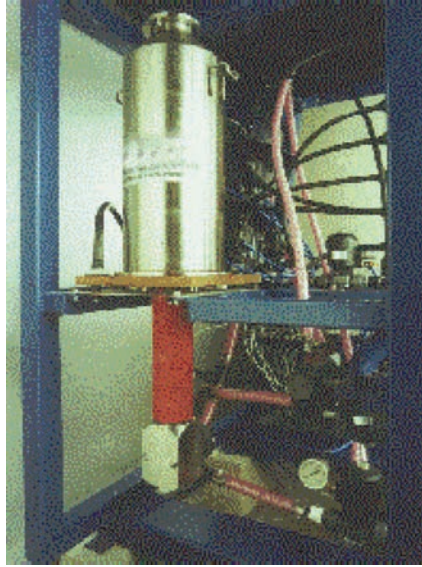


FIG. 82. Analizador XRF durante el proceso de fabricación.

Descripción de uso

Los dispositivos se utilizan para el análisis de materiales en una amplia diversidad de industrias. Cuando un elemento se expone a la radiación de una energía conocida, ésta es absorbida y desde el elemento se emite un espectro singular de rayos X secundarios. El análisis del espectro permite determinar con exactitud la composición del material.

Para la detección de los distintos elementos se utilizan isótopos diferentes porque la energía de la radiación primaria tiene que ser mayor para la detección de los materiales de mayor número atómico.

Las fuentes se encuentran en una unidad blindada dentro del dispositivo. Durante su uso se ponen al descubierto abriendo una ventana que permite que los haces de radiación colimados se dirijan al material objeto de análisis. La ventana se cierra cuando el dispositivo no está en uso.

El detector normalmente se encuentra dentro de la misma unidad que la fuente con elementos electrónicos asociados para analizar el espectro de rayos X secundarios e individualizar los materiales que se miden.

Entorno operativo típico

Hay varios tipos de dispositivos, según las aplicaciones. Las principales son:

- Análisis de aleaciones para la verificación de existencias, la selección de chatarra y la comprobación de componentes;
- En la minería, análisis de material excavado de pozos, y de muestras, esquirlas y fangos de operaciones de perforación;
- Análisis de soluciones de electroplastia;
- Análisis químico general de laboratorio;
- Determinación de niveles de plomo en pintura vieja para definir el nivel de protección personal que se requiere antes de eliminarla.

Muchos dispositivos son muy portátiles y se llevan en la mano, por ejemplo, para el análisis de pintura y chatarra, mientras que otras unidades pueden estar fijadas a las tuberías o transportadores, y los sistemas se instalan en laboratorios analíticos.

Los dispositivos portátiles también tienen una caja de transporte para protegerlos en tránsito y almacenamiento.

Las fuentes suelen conservarse dentro de su blindaje con algún tipo de tornillos amortiguadores o un fijador permanente. En el caso de los dispositivos portátiles o manuales, las fuentes no son normalmente cambiadas por el usuario, sino que la unidad se devuelve al fabricante para el mantenimiento y cambio de la fuente cuando se requiera.

Dada la forma en que se utilizan, los dispositivos portátiles o manuales tienen una probabilidad relativamente alta de ser robados o de perderse. No obstante, el nivel de riesgo es muy reducido porque la actividad de las fuentes es baja y están bien protegidas en las unidades.

Las fuentes colocadas en dispositivos montados permanentemente o en dispositivos de banco pueden ser cambiadas por ingenieros de mantenimiento capacitados cuando se agoten.

Fuentes

Actividad máxima típica de la fuente:

^{241}Am 1,85 GBq (50 mCi);

^{244}Cm 3,7 GBq (100 mCi);

^{109}Cd 1,85 GBq (50 mCi);

^{55}Fe 740 MBq (20 mCi).

5.18. EQUIPO DE BRAQUITERAPIA DE CARGA DIFERIDA A DISTANCIA

Categoría de dispositivo	2: Muy peligroso para la persona si no se controla correctamente
Intervalo típico de dimensiones	Dispositivo: 300 a 600 mm de largo × 300 a 600 mm de ancho × 800 a 1 500 mm de alto
Intervalo típico de masas	50 a 250 kg
Aplicación	Terapia médica
Véanse figs. 83 a 88	



FIG. 83. Equipo moderno de braquiterapia de carga diferida a distancia de ^{192}Ir (foto: Nucletron).



FIG. 84. Equipo moderno de braquiterapia de carga diferida a distancia de ^{192}Ir (foto: Nucletron).



FIG. 85. Equipo de braquiterapia de carga diferida a distancia de ^{137}Cs acoplado a catéteres para el transporte de fuentes.



FIG. 86. Contenedor para el intercambio de fuente de equipo de carga diferida a distancia de ^{192}Ir (foto: Seedos/Bebig).



FIG. 87. Equipo moderno de braquiterapia de carga diferida a distancia de ^{137}Cs (foto: Seedos/Bebig).



FIG. 88. Recipiente de fuentes de ^{137}Cs para almacenamiento y transporte (foto: Seedos/Bebig).

Descripción de uso

Estos dispositivos suelen tener fuentes múltiples de ^{137}Cs , ^{192}Ir o ^{60}Co . Las fuentes son muy pequeñas (hasta de 1 mm aproximadamente de diámetro). Se emplean para la terapia del cáncer, en que las fuentes se transportan automáticamente de su blindaje en el contenedor a un tubo tipo catéter que ha sido colocado anteriormente en un sitio del tumor. Ello permite que el oncólogo coloque el “catéter” con exactitud en el sitio sin que esté presente ninguna fuente radiactiva. A continuación puede administrarse la dosis de radiación a distancia directamente al sitio, maximizando la dosis al tumor con una dosis mínima al tejido sano del paciente y ninguna dosis al personal médico. Estos dispositivos se instalan en muchas unidades de terapia del cáncer de hospitales de todo el mundo.

Las fuentes radiactivas se almacenan en un recipiente blindado en el equipo de braquiterapia. El catéter se coloca en el sitio del tumor sin ninguna fuente radiactiva cargada, y la colocación correcta puede ser confirmada por radiografía.

Después que se coloca el catéter, se conecta al equipo de braquiterapia, que administra neumáticamente el número correcto de fuentes al sitio de tratamiento. Al final del ciclo de tratamiento, las fuentes se retiran a su recipiente de almacenamiento en el equipo.

Entorno operativo típico

Las unidades se utilizan de ordinario en departamentos de oncología de hospitales de todo el mundo. La propia unidad se utiliza en una instalación blindada para prevenir la exposición del personal médico, y la instalación de ordinario tendría acceso estrictamente controlado. La unidad se monta sobre ruedas y puede almacenarse en una zona de acceso restringido y llevarse a la zona de tratamiento sólo cuando esté en uso.

Ingenieros de mantenimiento capacitados reemplazan periódicamente las fuentes agotadas. Las fuentes utilizadas se descargan en un recipiente portátil especial, que también entrega las nuevas fuentes al equipo y las recoge de él. Otra posibilidad es que el recipiente de las fuentes completo se extraiga del equipo con las fuentes en su interior y se utilice como contenedor de transporte.

El recipiente se utiliza para transportar las fuentes entre la sede del fabricante y el equipo en el hospital.

Por lo general las fuentes son muy pequeñas, de menos de 5mm de diámetro, y es probable que no estén grabadas con un trébol u otras marcas de identificación.

Fuentes

Actividad típica de la fuente:

- ¹⁹²Ir: hasta 20 fuentes de hasta 500 GBq (14 Ci) cada una;
- ¹³⁷Cs: hasta 40 fuentes de hasta 1,5 GBq (40 mCi) cada una;
- ⁶⁰Co: hasta 40 fuentes de hasta 1,5 GBq (40 mCi) cada una.

5.19. ELIMINADOR DE ESTÁTICA

Categoría de dispositivo	4: Poco probable que sea peligroso para la persona
Intervalo típico de dimensiones	Barras: hasta 2 000 mm de largo × 30 mm de ancho × 10 mm de profundidad; Pistolas: 30 mm de diámetro × 80 mm de largo
Intervalo típico de masas	Barras: hasta 2 kg; Pistolas: hasta 500 g
Aplicación	Industria de transformación, trenes de laminación de papel y plástico, talleres de pintura pulverizada y fabricación de elementos electrónicos

Véanse figs. 89 a 91



FIG. 89. Barra típica de eliminador de estática (foto: Oak Ridge Associated Universities).



FIG. 90. Pistola de aire típica de eliminador de estática (foto: Oak Ridge Associated Universities).



FIG. 91. Barras de eliminadores de estática (foto: NRC).

Descripción de uso

Estos tipos de dispositivos tienen una laminilla enrollada de metal precioso con ^{210}Po incorporado con una capa fina de metal precioso puro que sella el compuesto de ^{210}Po a la laminilla.

Hay dos tipos principales de dispositivos: barras y pistolas. Los dispositivos de barra emiten una “nube” de partículas alfa a una distancia de cerca de 2 pulgadas (8 centímetros) de la superficie que ionizan el gas circundante (aire) y permiten que las cargas estáticas en los materiales circundantes pasen a tierra con seguridad mediante una lenta descarga. Los dispositivos de pistola se emplean en líneas neumáticas de aire, y el aire que circula por ellas se ioniza. La corriente de aire resultante puede utilizarse para soplar el polvo de los objetos y eliminar la carga estática sobre ellos que atrae el polvo.

En el caso de las barras, la laminilla de metal se encuentra dentro de una funda de metal con una rejilla que permite el libre movimiento del aire ionizado, y al mismo tiempo protege la laminilla; y en lo que respecta a las pistolas, la laminilla se encuentra dentro de una funda tubular de metal que forma parte del tubo de aire y la empuñadura de la pistola.

Entorno operativo típico

Las barras se utilizaban con mucha frecuencia en la fabricación de bobinas en que la acumulación de carga estática constituía un problema o un riesgo de incendio. Las pistolas se empleaban en aplicaciones realizadas en sala limpia, como en fabricas de elementos electrónicos y talleres de pintura de alta calidad.

En los últimos diez años, su prevalencia se ha reducido significativamente dadas las mejoras registradas en los eliminadores de estática eléctricos.

Las barras normalmente se montan a través de los trenes laminadores cerca del recorrido de la bobina donde se acumula la carga estática. Las pistolas se utilizan en salas limpias y talleres de pintura que deben cerrarse con llave cuando no están en uso.

El período de semidesintegración del ^{210}Po es relativamente corto (20 semanas) y, por tanto, los dispositivos suelen sustituirse anualmente a base de un contrato de servicio con su proveedor original.

Los dispositivos se envasan para el transporte en embalajes industriales normales, como envases de cartón rígido o de plástico rígido.

Fuentes

- Barras: ^{210}Po hasta 2 GBq (55 mCi) cuando están nuevas;
- Pistolas: ^{210}Po hasta 370 MBq (10 mCi) cuando están nuevas.

5.20. PARARRAYOS RADIATIVO

Categoría de dispositivo	5: Muy poco probable que sea peligroso para la persona
Intervalo típico de dimensiones	100 a 300 mm de diámetro × 500 a 1 000 mm de largo
Intervalo típico de masas	2 a 10 kg
Aplicación	Pararrayos en edificios
Véanse figs. 92, 93	



FIG. 92. Ejemplo de un pararrayos radiactivo.



FIG. 93. Ejemplos de pararrayos radiactivos.

Descripción de uso

Habitualmente se acoplaban fuentes radiactivas de poca energía a los pararrayos. Se estimaba que las fuentes causarían la ionización del aire en torno a la barra conductora y aumentarían la eficiencia del pararrayos. Según informes, se han utilizado varios tipos de fuentes, incluso de fuentes alfa de ^{226}Ra y ^{241}Am , así como de fuentes gamma de ^{69}Eu y ^{60}Co .

En el decenio de 1970 se demostró que el pararrayos radiactivo no resultaba eficaz y la mayoría se ha retirado de servicio.

Entorno típico de uso

Los pararrayos radiactivos se instalaban principalmente en los pararrayos de edificios donde se conservaban materiales peligrosos. En algunos países, también se instalaban en muchos edificios públicos, como iglesias.

Desde 1970, la mayoría de los países han venido aplicando un programa para retirar de servicio los pararrayos radiactivos.

Fuentes

- ²⁴¹Am: hasta 1,1 GBq (30 mCi);
- ²²⁶Ra: hasta 1,1 GBq (30 mCi).

5.21. SEÑALES AUTOLUMINISCENTES

Categoría de dispositivo	5: Muy poco probable que sea peligroso para la persona
Intervalo típico de dimensiones	Hasta 600 mm de largo × hasta 200 mm de ancho × hasta 100 mm de profundidad
Intervalo típico de masas	1 a 10 kg
Aplicación	Señales autoluminiscentes de salida en edificios públicos
Véanse figs. 94, 95	



FIG. 94. Ejemplos de señales autoluminiscentes.



FIG. 95. Construcción de una señal autoluminiscente.

Descripción de uso

Las señales autoluminiscentes tienen una mezcla de gas ^3H (tritio) emisor beta sellado en un tubo de vidrio internamente revestido con fósforo. El fósforo emite una luz visible cuando interactúa con una partícula beta.

El gas está sellado en un tubo de vidrio y la luz puede verse en todo momento. No se requiere energía, lo que lo hace ideal para las señales de emergencia que puedan requerirse en edificios ante un corte de electricidad.

Del tubo de vidrio no sale ninguna radiación y, en caso de rotura, el gas de tritio se dispersa en zonas bien ventiladas.

Entorno típico de uso

Los dispositivos se emplean de manera bastante generalizada en edificios públicos y aeronaves.

Fuentes

³H: hasta 740 GBq (20 Ci).

5.22. DETECTOR DE HUMO

Categoría de dispositivo	5: Muy poco probable que sea peligroso para la persona
Intervalo típico de dimensiones	100 a 150 mm de diámetro × 15 a 30 mm de alto
Intervalo típico de masas	100 a 300 g
Aplicación	Detección de humo en hogares e industrias

Véanse figs. 96 a 98



FIG. 96. Detector de humo típico (vista trasera).



FIG. 97. Detector de humo típico (vista frontal).

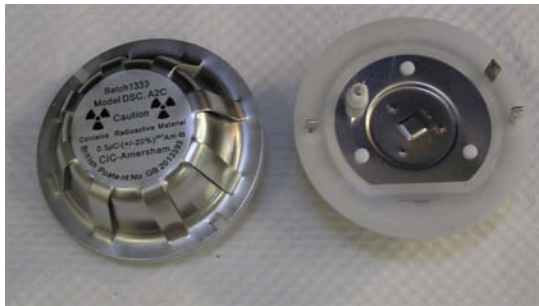


FIG. 98. Cámara de ionización típica que contiene el componente radiactivo de un detector de humo de uso doméstico (foto: QSA-Global).

Descripción de uso

Los detectores de humo radiactivos contienen una fuente alfa muy pequeña de ^{241}Am que ioniza el aire en una cámara. Dos placas se mantienen en una diferencia de voltaje constante en la cámara y el aire ionizado permite que una corriente constante pase a través de ellas. Si el humo entra en la cámara, la radiación es absorbida por el humo y la ionización del aire disminuye, lo que a su vez reduce la corriente entre las placas y dispara una alarma.

Entorno operativo típico

Estos dispositivos se utilizan comúnmente en hogares, oficinas y fábricas de todos los lugares.

Los detectores de humo se suministran con la fuente radiactiva acoplada. La fuente se mantiene en el detector de humo durante la vida útil del dispositivo.

Cuando el detector de humo se sustituye, la actividad de la fuente es suficientemente baja para que el dispositivo pueda someterse a disposición final utilizando la recogida de basuras domésticas, teniendo en cuenta los reglamentos al respecto.

Fuentes

^{241}Am - actividad máxima: 37 kBq (1 μCi);

Antes las fuentes tenían hasta 2,5 MBq (70 μCi) de ^{226}Ra o ^{239}Pu .

6. EJEMPLOS DE FUENTES RADIATIVAS

6.1. FUENTE DE TELETERAPIA DE ^{60}Co

Categoría de fuente

1: Extremadamente peligrosa para la persona si no se controla correctamente

Intervalo típico de dimensiones

Cilindro: 20 mm de diámetro \times 30 mm de largo

Actividad típica

de la fuente nueva

^{60}Co : hasta 550 TBq (15 kCi)

Aplicación

Terapia médica

Véanse figs. 99 a 101



FIG. 99. Fuente de teleterapia de ^{60}Co en un soporte de tungsteno (foto: Oak Ridge Associated Universities).



FIG. 100. Cápsula de fuente de cuchillo gamma (foto: Elekta).



FIG. 101. Variedad de fuentes de teleterapia de ^{60}Co con accesorios conexos para su carga en el cabezal de teleterapia (foto: REVISS Services (UK) Ltd).

Descripción de uso

Estas fuentes se utilizan casi exclusivamente en aplicaciones de teleterapia médica en hospitales y en cuchillos gamma. También se emplean en algunos laboratorios radiométricos para mediciones de calibración, y normalmente se encuentran instaladas de manera permanente en unidades semejantes a cabezales de teleterapia.

Debido a su alta energía y actividad típicamente alta, las fuentes son potencialmente peligrosas. Incluso una exposición breve a este tipo de fuentes puede causar una dosis de radiación letal.

Sólo pueden manipular las fuentes operadores especializados y capacitados con experiencia en relación con la fuente y el dispositivo en que está montada. Se requiere equipo blindado especializado.

Las fuentes están doblemente encapsuladas en acero inoxidable, y contienen pastillas de cobalto que han sido tratadas en un reactor nuclear para producir el radioisótopo ^{60}Co .

Las fuentes se fabrican en dos o tres tamaños normalizados y pueden montarse en espaciadores de tungsteno dentro del cabezal de teleterapia.

6.2. FUENTE DE ESTERILIZACIÓN GAMMA DE ^{60}Co

Categoría de fuente	1: Extremadamente peligrosa para la persona si no se controla correctamente
Intervalo típico de dimensiones	En su mayoría de 11 mm de diámetro \times 450 mm de largo
Actividad típica de la fuente nueva	^{60}Co : hasta 440 TBq (12 kCi)
Aplicación	Esterilización industrial e irradiación en investigaciones
Véanse figs. 102 a 104	



FIG. 102. Fuente de esterilización industrial típica; en el recuadro se observan pastillas de metal de cobalto (foto: REVISS). Dimensiones aproximadas: 11 mm de diámetro \times 450 mm de largo; actividad típica de la fuente nueva: 444 TBq (12 kCi) de ^{60}Co .



FIG. 103. Fuente de esterilización industrial típica (foto: REVISS). Dimensiones aproximadas: 35 mm de diámetro \times 720 mm de largo; actividad típica de la fuente nueva; 1,85 PBq (50 kCi) de ^{60}Co .



FIG. 104. Selección de fuentes de irradiador de ^{60}Co (foto: REVISS).

Descripción de uso

Estas fuentes se utilizan en instalaciones de plantas de esterilización gamma permanentes, que son edificios concebidos específicamente para almacenar las fuentes y permitir que el producto entre en una cámara grande de esterilización cuando se somete a una dosis de radiación controlada, con frecuencia destinada a eliminar bacterias.

También se utilizan en irradiadores de pequeña escala, principalmente en laboratorios de investigación para fines experimentales.

Debido a su alta energía y actividad típicamente alta, las fuentes son potencialmente peligrosas. Incluso una exposición breve a una fuente agotada puede causar una dosis de radiación letal.

Sólo pueden manipular las fuentes operadores especializados y capacitados con experiencia en relación con la fuente y el dispositivo o instalación de irradiación en que ésta se emplea. Se requiere equipo blindado especializado.

Las fuentes están doblemente encapsuladas en una cápsula exterior de acero inoxidable, y contienen pastillas de cobalto que han sido tratadas en un reactor nuclear para producir el radioisótopo ^{60}Co .

El diseño más corriente de la fuente de esterilización gamma de ^{60}Co es el tipo Nordion C188, REVISS RSL2089, utilizado en plantas industriales de esterilización gamma de todo el mundo. Varios otros fabricantes producen fuentes de dimensiones similares, y también hay una variedad de otros tipos de diseño que se emplean tanto en irradiadores industriales como en irradiadores de pequeña escala.

6.3. FUENTE DE GENERADOR TERMOELÉCTRICO
RADIOISOTÓPICO DE ⁹⁰Sr

Categoría de fuente	1: Extremadamente peligrosa para la persona si no se controla correctamente
Intervalo típico de dimensiones	Hasta 100 mm de diámetro x 200 mm de largo
Actividad típica de la fuente nueva	⁹⁰ Sr: hasta 1,85 PBq (50 kCi)
Aplicación	RTG

Descripción de uso

Estas fuentes se utilizan en los RTG, como se señala en la sección 5.7.
Se cargan y sellan en los RTG y no deben extraerse durante su vida útil.
Debido a su alta energía y actividad típicamente alta, las fuentes son potencialmente peligrosas e incluso una exposición breve a una de ellas puede causar una dosis de radiación letal. La radiación principal es la radiación beta, que es de relativamente corto alcance, pero también la fuente crea un nivel peligroso e importante de radiación gamma de frenado secundaria.
Sólo deben manipular las fuentes operadores especializados y capacitados, en una instalación fuertemente blindada.
Las fuentes de ordinario están doblemente encapsuladas en acero inoxidable y contienen pastillas prensadas de carbonato de estroncio.

6.4. FUENTES DE GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL

Categoría de fuente	2: Muy peligrosa para la persona si no se controla correctamente
Intervalo típico de dimensiones	Fuente: hasta 7 mm de diámetro × 15 mm de largo; cable flexible de hasta 200 mm de largo
Actividad típica de la fuente nueva	¹⁹² Ir: 5,5 TBq (150 Ci) ⁷⁵ Se: 2,9 TBq (80 Ci) ¹⁶⁹ Yb: 740 GBq (20 Ci) ⁶⁰ Co: 3,7 TBq (100 Ci) ¹³⁷ Cs: 370 GBq (10 Ci)
Aplicación	Radiografía industrial
Véanse figs. 105 a 107	



FIG. 105. Conjuntos típicos de fuente/cable “pigtail” de gammagrafía (foto: Oak Ridge Associated Universities).



FIG. 106. Conjunto típico moderno de fuente/cable “pigtail” de gammagrafía (foto: QSA-Global).



FIG. 107. Cápsula típica de fuente interior de gammagrafía antes de su encapsulamiento en el cable “pigtail” (foto: MAYAK P.A.).

Descripción de uso

Estas fuentes se utilizan en dispositivos de gammagrafía (secciones 5.10 y 5.11).

Las fuentes están típicamente acopladas a un cable flexible corto (conocido como “pigtail”), con un enlace de conexión que permite que se sujeten a un cable de control de modo que puedan extraerse del dispositivo de radiografía y posicionarse a distancia para realizar una radiografía.

Las fuentes suelen estar doblemente encapsuladas en acero inoxidable y contienen una o más pastillas de material activo en forma metálica.

Las fuentes comúnmente son de ^{192}Ir , pero también se utilizan de ^{60}Co , ^{75}Se y ^{169}Yb . Todas las fuentes tienen una apariencia similar.

6.5. FUENTES DE BRAQUITERAPIA DE CARGA DIFERIDA A DISTANCIA DE ALTA TASA DE DOSIS

Categoría de fuente	2: Muy peligrosa para la persona si no se controla correctamente
Intervalo típico de dimensiones	En el examen que figura a continuación se describen las dimensiones
Actividad típica de la fuente nueva	^{192}Ir : hasta 370 GBq (10 Ci); ^{137}Cs : hasta 1,5 GBq (40 mCi); ^{60}Co : hasta 1,5 GBq (40 mCi)
Aplicación	Terapia médica
Véase fig. 108	



FIG. 108. Fuente de braquiterapia de alta tasa de dosis.

Estas fuentes se utilizan en dispositivos de braquiterapia de alta tasa de dosis (véase la sección 5.18).

Las fuentes suelen ser de ^{192}Ir . El diámetro de la fuente está reducido al mínimo para permitir opciones de tratamiento optimizadas y la fuente se sujeta a un cable flexible, que permite que la máquina de carga diferida a distancia sitúe la fuente en posiciones de tratamiento programadas con anterioridad.

Las fuentes suelen consistir en una extensión de cable irradiado con ^{192}Ir , encapsulado en un tubo de metal fundido, el que a su vez está soldado al cable flexible.

Los sistemas de braquiterapia de alta tasa de dosis más antiguos tienen otras fuentes miniatura que contienen ^{60}Co , ^{137}Cs o ^{192}Ir . Estas fuentes suelen ser esféricas, y se transportaban a los lugares de tratamiento a lo largo de catéteres con el empleo de un sistema neumático. Se asemejan a rodamientos de bolas.

En general, las fuentes de braquiterapia de carga diferida a distancia no tienen marcas de identificación grabadas fácilmente visibles.

Debido a su tamaño reducido, y a la falta de marcas distintivas, estas fuentes pueden perderse con relativa facilidad, en particular si se hallan presentes en equipo clausurado.

Dimensiones aproximadas:

Fuentes modernas de ^{192}Ir : hasta 3 mm de diámetro \times 15 mm de largo;
cable flexible hasta 300 mm de largo;

Fuentes más antiguas de ^{60}Co , ^{137}Cs : esféricas; 3 mm de diámetro.

6.6. FUENTES GAMMA DE ALTA ENERGÍA DE CALIBRADORES INDUSTRIALES

Categoría de fuente	3: Peligrosa para la persona si no se controla correctamente y 4: Poco probable que sea peligrosa para la persona
Intervalo típico de dimensiones	3 a 12 mm de diámetro \times 5 a 15 mm de largo
Actividad típica de la fuente nueva	^{137}Cs : 370 MBq (10 mCi) a 370 GBq (10 Ci); ^{60}Co : 37 MBq (1 mCi) a 37 GBq (1 Ci)
Aplicación	Calibración industrial y medición de la densidad del suelo
Véanse figs. 109 a 112	



FIG. 109. Varias fuentes gamma de alta energía (foto: QSA-Global).



FIG. 110. Fuente gamma típica de ^{60}Co (foto: MAYAK P.A.).



FIG. 111. Fuente gamma típica de ^{137}Cs (foto: MAYAK P.A.).



FIG. 112. Fuente gamma de calibración histórica de ^{226}Ra y portafuente.

Descripción de uso

Estas fuentes se utilizan en sistemas de medición fijos en muchas aplicaciones industriales, como en mediciones de espesor, densidad y nivel bruto. Los dispositivos se describen en la sección 5.12. Suelen ser aplicaciones de la categoría 3 o 4.

También se utilizan en medidores portátiles mixtos de humedad/densidad del suelo, como se indica en la sección 5.16. Suelen ser aplicaciones de la categoría 4.

Las fuentes emiten radiación gamma de alta energía y la atenuación o retrodispersión de la radiación se mide a través de los medios de interés.

Las fuentes por lo general son de ⁶⁰Co o, con más frecuencia, de ¹³⁷Cs. De ordinario están doblemente encapsuladas en acero inoxidable fundido. El material activo se halla en forma de pastilla o pastillas metálicas en el caso del ⁶⁰Co, o de material cerámico no lixiable en lo que respecta al ¹³⁷Cs. Se han producido algunas fuentes de ²²⁶Ra, pero se considera que han sido clausuradas en su mayoría.

Las fuentes se encuentran dentro de dispositivos blindados pesados y para acceder a ellas normalmente se requieren instrumentos especializados.

Las fuentes se transportan generalmente hacia y desde el lugar de uso en el dispositivo en que se utilizan, pero en algunos casos se ajustan in situ por personal debidamente capacitado y técnicos cualificados.

La mayoría de las fuentes son cápsulas cilíndricas, sin ningún otro elemento. En algunos casos, puede haber una rosca u otro elemento de manipulación.

Fuentes del mismo tamaño pueden tener un amplio intervalo de actividades. Por ejemplo, la actividad de las fuentes de calibración de ¹³⁷Cs puede fluctuar entre 370 MBq (10 mCi) y 370 GBq (10 Ci) en cápsulas de tamaño similar, según la aplicación. La actividad de una fuente no siempre está grabada en la cápsula debido a su desintegración.

Los medidores portátiles de la humedad y la densidad del suelo tienen una fuente de aproximadamente 370 MBq (10 mCi).

Otros isótopos utilizados raras veces en sondas gamma de alta energía pueden ser el ¹³⁴Cs y el ¹³³Ba.

6.7. FUENTES DE NEUTRONES DE CALIBRACIÓN INDUSTRIAL

Categoría de fuente	3: Peligrosa para la persona si no se controla correctamente y 4: Poco probable que sea peligrosa para la persona
Intervalo típico de dimensiones	8 a 20 mm de diámetro × 12 a 30 mm de largo

Actividad típica de la fuente nueva

$^{241}\text{Am}/\text{Be}$: 1,85 GBq (50 mCi) a 185 GBq (5 Ci);

Aplicación

^{252}Cf : 72 MBq (2 mCi) a 720 MBq (20 mCi)
Calibración industrial y calibración de la humedad del suelo

Véase fig. 113



FIG. 113. Fuente de neutrones típica de $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ (foto: MAYAK P.A.).

Descripción de uso

Estas fuentes se utilizan en sistemas fijos de calibración en muchas aplicaciones industriales para la medición de la humedad en bruto, como se expone en la sección 5.15. Por lo general se trata de aplicaciones de la categoría 3.

También se utilizan en medidores mixtos portátiles de la humedad/densidad del suelo, según se indica en la sección 5.16. Por lo general se trata de aplicaciones de la categoría 4.

Con frecuencia se emplean conjuntamente con una medición de densidad basada en una fuente gamma.

Las fuentes emiten neutrones, y para deducir el contenido de humedad se mide el nivel de radiación neutrónica retrodispersada.

Estas fuentes por lo general son de ^{241}Am mezclado con Be. La desintegración alfa del ^{241}Am interactúa con el Be para iniciar la radiación neutrónica secundaria a partir del Be.

Algunas fuentes son de ^{252}Cf , que emite neutrones por fisión espontánea.

Las fuentes suelen estar doblemente encapsuladas en acero inoxidable fundido. El material activo se halla en forma de pastilla prensada de óxido de ^{241}Am y de berilio metálico. La pastilla es relativamente sólida y no lixiable.

Las fuentes se encuentran habitualmente en dispositivos blindados, y el acceso a ellas exige por lo general instrumentos especializados. El blindaje normalmente es un material de alto contenido de hidrógeno y, por tanto, no es tan denso como los utilizados para el blindaje de neutrones.

En muchas aplicaciones de mediciones en bruto (por ejemplo, en tolvas), la fuente se coloca dentro de la tolva y el contenido de ésta proporciona un blindaje eficaz contra la dosis de radiación.

Estas fuentes de ordinario se transportan hacia y desde el lugar de uso en el dispositivo en que se utilizan, pero en algunos casos se ajustan in situ por técnicos debidamente capacitados y cualificados.

La mayoría de las fuentes son cápsulas cilíndricas sin ningún otro elemento. En algunos casos, puede haber una rosca u otro elemento de manipulación.

La mayoría de los equipos de medición de radiación gamma no responden a la radiación neutrónica. Tampoco los dosímetros personales. Se requieren monitores de radiación neutrónica especiales. También cabe señalar que los monitores de radiación neutrónica responden con lentitud a las mediciones.

Fuentes del mismo tamaño pueden tener un amplio intervalo de actividades. Por ejemplo, las fuentes de calibración de $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ pueden tener una actividad de 3,7 GBq (100 mCi) a 185 GBq (5 Ci) en cápsulas de tamaño similar, según la aplicación. Las fuentes de ^{252}Cf pueden tener tasas de dosis muy altas en cápsulas pequeñas incluso de hasta 6 mm de diámetro y 12 mm de largo.

Los medidores portátiles de la humedad del suelo tienen fuentes de $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ de aproximadamente 1,85 GBq (50 mCi).

6.8. FUENTES GAMMA Y DE NEUTRONES UTILIZADAS EN DIAGRAFÍA DE POZOS

Categoría de fuente	3: Peligrosa para la persona si no se controla correctamente
Intervalo típico de dimensiones	Fuentes gamma: 8 a 20 mm de diámetro × 12 a 30 mm de largo; Fuentes de neutrones: 20 a 30 mm de diámetro × 50 a 50 mm de largo
Actividad típica de la fuente nueva	Fuentes gamma: ^{137}Cs : 37 GBq (1 Ci) a 111 GBq (3 Ci); Fuentes de neutrones: $^{241}\text{Am}/\text{Be}$: 185 GBq (5 Ci) a 740 GBq (20 Ci)
Aplicación	Exploración y producción de petróleo
Véanse figs. 114, 115	



FIG. 114. Selección de fuentes de diagráfia de pozos de $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ y ^{137}Cs (foto: NRC).



FIG. 115. Fuente de diagráfia de pozos típica de $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ acoplada a un dispositivo de tapón ciego (foto: NRC).

Descripción de uso

Las fuentes gamma casi siempre son de ¹³⁷Cs. Las fuentes de neutrones casi siempre son de ²⁴¹Am con Be.

Las fuentes se utilizan ampliamente en la industria petrolera. Se transportan por empresas de diagráfía de pozos y pueden hallarse en bases operacionales institucionales y en emplazamientos de pozos petrolíferos. Se conservan en bases de almacenamiento en condiciones de seguridad.

Por lo general la fuente es una cápsula cilíndrica soldada, doblemente encapsulada, de acero inoxidable de gran resistencia similar a las descritas en las secciones 6.6 y 6.7. El contenido activo es un elemento cerámico no lixiable que contiene ¹³⁷Cs en el caso de las fuentes gamma y una pastilla sólida prensada no lixiable de óxido de ²⁴¹Am y berilio metálico en el caso de las fuentes de neutrones.

Las cápsulas a menudo tienen roscas u otros elementos de manipulación para que puedan asegurarse dentro de los tapones ciegos.

Las fuentes se colocan generalmente dentro de un tapón ciego para garantizar más su protección, como se explica en las secciones 5.8 y 5.9. Sería un caso muy excepcional que una fuente se extrajera del tapón ciego, para lo cual se requerirían instalaciones de manipulación especializadas y personal capacitado.

6.9. FUENTES DE BAJA ENERGÍA DE CALIBRADORES INDUSTRIALES FIJOS

Categoría de fuente	4: Poco probable que sea peligrosa para la persona
Intervalo típico de dimensiones	10 a 50 mm de diámetro × 7 a 15 mm de alto
Actividad típica de la fuente nueva	²⁴¹ Am: 370 MBq (10 mCi) a 74 GBq (2 Ci); ⁹⁰ Sr: 370 MBq (10 mCi) a 7,4 GBq (200 mCi); ⁸⁵ Kr: 370 MBq (10 mCi) a 7,4 GBq (200 mCi)
Aplicación	Calibración industrial

Véanse figs. 116 a 119



FIG. 116. Fuente beta de ^{90}Sr con un extremo soldado y un extremo de ventana (foto: QSA-Global).



FIG. 117. Fuente beta de ^{85}Kr con extremo de ventana (foto: QSA-Global).



FIG. 118. Fuentes beta de ^{85}Kr con una cubierta protectora de ventana de bronce sujetable y extraíble (foto: QSA-Global).



FIG. 119. Fuente gamma de baja energía de ^{241}Am de área amplia con una cara soldada (aproximadamente 40 mm de diámetro) (foto: QSA-Global).

Descripción de uso

Estas fuentes se utilizan en sistemas de calibración fijos para muchas aplicaciones industriales con el fin de medir el espesor, la densidad y los niveles en equipos de llenado de bultos, como se indica en las secciones 5.13 y 5.14.

Las fuentes emiten radiación gamma o radiación beta de baja energía. La atenuación de la radiación se mide a través de los medios de interés. El tipo de radiación depende del espesor o densidad de los medios que vayan a medirse.

Las fuentes gamma suelen ser de ^{241}Am . Las fuentes beta por lo general son de ^{90}Sr o ^{85}Kr . De ordinario son cilindros en forma de discos y se fabrican en acero inoxidable. La cápsula está soldada como un encapsulamiento único. Un extremo del cilindro es muy delgado y delicado para posibilitar la transmisión de la radiación. Esto se conoce como la “ventana”. Las fuentes deben manipularse con cuidado para evitar daños a la ventana. El material activo está en forma de elemento cerámico no lixiable en el caso del ^{90}Sr y del ^{241}Am ; el ^{85}Kr es un gas.

Las fuentes por lo general se encuentran dentro de dispositivos blindados pesados con una ventana delgada en un orificio sujetos firmemente a la línea de producción. El acceso a la fuente suele requerir instrumentos especializados.

Las fuentes pueden ser transportadas hacia y desde el lugar de uso en el dispositivo en que se utilizan, pero en muchos casos se ajustan in situ por técnicos debidamente capacitados y cualificados.

Debido a la baja energía de la radiación gamma, y a la baja transmisión de la radiación beta, la salida de la radiación sólo se produce en la mayoría de los casos a través de la ventana de la fuente. La salida de la radiación puede reducirse al mínimo cubriendo la ventana de la fuente con material de baja densidad (como perspex de 1 cm).

La mayor parte de las fuentes son cápsulas cilíndricas sin ningún otro elemento.

Entre otros isótopos empleados raras veces en sondas gamma y beta de baja energía se incluye el ^{147}Pm .

6.10. FUENTES SEMILLA DE IMPLANTE PERMANENTE Y DE BRAQUITERAPIA DE BAJA TASA DE DOSIS

Categoría de fuente	5: Muy poco probable que sea peligrosa para la persona
Intervalo típico de dimensiones	Menos de 1 mm de diámetro × menos de 5 mm de largo
Actividad típica de la fuente nueva	^{125}I , ^{103}Pd : hasta 50 MBq (1,5 mCi)
Aplicación	Terapia médica
Véanse figs. 120 a 122	



FIG. 120. Semillas típicas de ^{125}I (foto: SeeDOS Ltd/BEBIG GmbH).



FIG. 121. Semillas en tira plástica (foto: SeeDOS Ltd/BEBIG GmbH).



FIG. 122. Distribuidor de semillas de ^{125}I de tira plástica (foto: SeeDOS Ltd/BEBIG GmbH).

Descripción de uso

Estas fuentes se utilizan para la braquiterapia intersticial de baja tasa de dosis o para la implantación permanente en la terapia del cáncer.

Las fuentes en su mayoría emiten baja energía gamma o radiación de rayos X y emplean ^{125}I .

Las fuentes se suministran independientemente o envasadas en una “tira” plástica que facilita su manipulación.

Se hallan soldadas en un encapsulamiento único de acero inoxidable o titanio. El material activo está laminado o químicamente enlazado a un sustrato.

Las fuentes no están identificadas ni marcadas por separado debido a su pequeño tamaño y su aplicación.

Se conocen como “semillas”.

Las semillas se utilizan de manera generalizada como tratamiento para el cáncer de próstata. Se implantan permanentemente empleando un dispositivo especializado y se permite su desintegración en el cuerpo de la persona.

6.11. PLACAS OFTÁLMICAS

Categoría de fuente	5: Muy poco probable que sea peligrosa para la persona
Intervalo típico de dimensiones	Menos de 10 mm de diámetro × menos de 5 mm de largo
Actividad típica de la fuente nueva	^{106}Ru hasta 50 MBq (1,4 mCi)
Aplicación	Terapia médica
Véase fig. 123	



FIG. 123. Vista de placa oftálmica con aplicador, utilizando un globo ocular simulado.

Descripción de uso

Estas fuentes se utilizan para el tratamiento del cáncer ocular y se encuentran en hospitales especializados.

La mayoría de las fuentes emiten radiación beta de baja energía y emplean ^{106}Ru laminado en un sustrato o incorporado en una laminilla de metal.

Se colocan en el globo ocular por períodos de hasta varios días.

6.12. FUENTES ANALÍTICAS GAMMA DE BAJA ENERGÍA

Categoría de fuente	5: Muy poco probable que sea peligrosa para la persona
Intervalo típico de dimensiones	3 a 15 mm de diámetro × 7 a 10 mm de alto
Actividad típica de la fuente nueva	^{241}Am : 370 MBq (10 mCi) a 1,85 GBq (50 mCi); ^{244}Cm : 370 MBq (10 mCi) a 3,7 GBq (100 mCi); ^{109}Cd : 370 MBq (10 mCi) a 1,85 GBq (50 mCi)
Aplicación	Calibración industrial
Véanse figs. 124 a 127	



FIG. 124. Fuente analítica gamma puntual de baja energía (foto: QSA-Global).



FIG. 125. Fuente analítica gamma típica de disco de gran diámetro con ventana de berilio y extremos soldados (foto: QSA-Global).



FIG. 126. Fuente analítica gamma típica de baja energía de disco de diámetro medio con ventana de berilio y extremos soldados (foto: QSA-Global).



FIG. 127. Fuente analítica gamma típica de baja energía de disco de diámetro pequeño con ventana de berilio (foto: IPL).

Descripción de uso

Estas fuentes se utilizan en instrumentos y dispositivos analíticos de laboratorio, en el tratamiento de materiales y en dispositivos manuales de caracterización de materiales, como se indica en la sección 5.17.

Las fuentes emiten radiación gamma de baja energía de bandas de energía precisas que, cuando incide en ciertos elementos, refleja ciertos espectros bien definidos de rayos X secundarios. El espectro permite analizar el material para determinar sus componentes.

Las fuentes gamma por lo general son de ^{241}Am , ^{244}Cm o ^{109}Cd . Las fuentes suelen ser cilindros en forma de discos. Hay dos tipos de cápsulas:

- 1) Las fabricadas de acero inoxidable y soldadas como un encapsulamiento único. Un extremo del cilindro es muy delgado y delicado para permitir la transmisión de la radiación.
- 2) Las fabricadas de una aleación de cobre con un disco de berilio soldado en un extremo para permitir la transmisión de la radiación. El extremo delgado o de berilio se conoce como ventana.

Las fuentes deben manipularse con cuidado para evitar daños a la ventana. El material activo está en forma de elemento cerámico no lixiable en el caso del ^{241}Am y el ^{244}Cm . El ^{109}Cd está laminado en un sustrato.

Las fuentes se encuentran por lo general en pequeños dispositivos blindados dentro del instrumento. El acceso a la fuente requiere normalmente instrumentos especializados.

Estas fuentes pueden ser transportadas hacia y desde el lugar de uso en el dispositivo en que se utilizaron, pero en muchos casos se ajustan in situ por técnicos debidamente capacitados y cualificados.

Debido a la baja energía de la radiación gamma, la salida de la radiación se produce principalmente sólo a través de la ventana de la fuente. La salida de la radiación puede reducirse al mínimo cubriendo la ventana de la fuente.

La mayor parte de las fuentes son cápsulas cilíndricas sin ningún otro elemento.

6.13. FUENTES DE CALIBRACIÓN Y DE REFERENCIA

Categoría de fuente	5: Muy poco probable que sea peligrosa para la persona
Intervalo típico de dimensiones	Amplias variaciones
Actividad típica de la fuente nueva	Amplia diversidad de isótopos: todas las actividades, hasta unos 37 MBq (1 mCi)
Aplicación	Calibración de instrumentos
Véanse figs. 128 a 133	



FIG. 128. Fuente puntual de referencia de ^{137}Cs (foto: Schlumberger).



FIG. 129. Marcador de referencia de fuente puntual médica (foto: QSA-Global).



FIG. 130. Varias fuentes de referencia de área amplia (foto: QSA-Global).



FIG. 131. Fuentes de calibración PET de ^{153}Gd dentro de su caja de transporte (foto: QSA-Global).



FIG. 132. Varias fuentes de calibración de detectores de geometría (foto QSA-Global).



FIG. 133. Alfombra de calibración para un detector gamma natural de diagrafía de pozos (foto: Schlumberger).

Descripción de uso

Estas fuentes suelen ser de muy baja actividad y se utilizan para calibrar instrumentos de medición de la radiación en muchas aplicaciones.

En la mayoría de los casos, la actividad es demasiado baja para que las fuentes puedan clasificarse oficialmente como selladas, pero se incluyen en este documento para mayor exhaustividad.

7. EJEMPLOS DE BULTOS DE TRANSPORTE RADIATIVOS

7.1. BULTOS DE TRANSPORTE DE FUENTES GAMMA DE ALTA ENERGÍA

Categoría de fuente	1: Extremadamente peligrosa para la persona si no se controla correctamente
Intervalo típico de dimensiones	Hasta 1,5 m de diámetro × hasta 2,5 m de alto
Masa típica	Hasta 5 000 kg
Isótopos típicos y actividad	⁶⁰ Co: hasta 550 TBq (15 kCi); ¹³⁷ Cs: hasta 740 TBq (20 kCi)
Véanse figs. 134 a 137	



FIG. 134. Contenedor de fuente gamma de alta actividad en una configuración de transporte (foto: REVISS).



FIG. 135. Contenedor de fuente gamma de alta actividad dentro de una jaula para prevenir el contacto con sus superficies calientes (foto: REVISS).



FIG. 136. Comprobación de las tasas de dosis en la superficie antes de expedir un contenedor de fuente gamma de alta actividad (foto: MDS Nordion).



FIG. 137. Contenedor en configuración para su carga en una planta de irradiación.

Descripción de uso

Estos contenedores se emplean para el transporte de fuentes de radiación gamma de alta energía, según se describe en las secciones 7.1 y 7.2.

Los contenedores suelen tener blindaje de plomo o uranio empobrecido. Los bultos de uranio empobrecido tienen que expedirse como radiactivos aún cuando no transporten carga útil. Del uranio se emite un bajo nivel de radiación incluso cuando no hay carga útil.

Los contenedores por lo general pueden volver a utilizarse y expedirse normalmente por carretera, ferrocarril y vía marítima.

Según los reglamentos locales, pueden aplicarse disposiciones especiales para el transporte.

Los contenedores cargados a menudo tienen la superficie exterior caliente.

7.2. INTERCAMBIADOR DE FUENTES DE RADIOGRAFÍA

Categoría de fuente	2: Muy peligrosa para la persona si no se controla correctamente
Intervalo típico de dimensiones	250 mm de largo × 210 mm de ancho × 340 mm de alto
Masa típica	40 kg
Isótopos típicos y actividad	¹⁹² Ir: 8,9 TBq (240 Ci); ⁷⁵ Se: 2,9 TBq (80 Ci); ¹⁶⁹ Yb: 1,5 TBq (40 Ci); ⁶⁰ Co: 3,7 GBq (100 mCi); ¹³⁷ Cs: 370 GBq (10 Ci)

Véanse figs. 138 a 141



FIG. 138. Intercambiador de fuente en configuración de transporte (foto: QSA).



FIG. 139. Intercambiador de fuente listo para su enlace con un dispositivo de radiografía para el intercambio de la fuente (foto: QSA).



FIG. 140. Intercambiador de fuente listo para su enlace con un dispositivo de radiografía para el intercambio de la fuente (foto: MDS Nordion).



FIG. 141. Intercambiadores de fuentes para el transporte de fuentes múltiples listos para su enlace con un dispositivo de radiografía para el intercambio de las fuentes (foto: MDS Nordion).

Descripción de uso

Estos contenedores se utilizan para el intercambio de fuentes de radiografía industrial, como se expone en la sección 6.4.

Los contenedores suelen tener blindaje de plomo o uranio empobrecido. Los bultos de uranio empobrecido tienen que expedirse como radiactivos aún cuando no transporten carga útil. Del uranio se emite un bajo nivel de radiación incluso cuando no hay carga útil.

Los contenedores pueden volver a utilizarse y expedirse normalmente por carretera, ferrocarril y por vía aérea y marítima. Además, se utilizan para expedir nuevas fuentes de radiografía del fabricante al usuario. Permiten al usuario colocar una fuente agotada obsoleta del dispositivo de radiografía en el contenedor de transporte, y extraer la nueva fuente para introducirla en el dispositivo de radiografía utilizando el sistema corriente de control remoto.

7.3. BULTOS DE TRANSPORTE DE FUENTES GAMMA DE BAJA ACTIVIDAD Y ALTA ENERGÍA

Categoría de fuente	3: Peligrosa para la persona si no se controla correctamente, y 4: Poco probable que sea peligrosa para la persona
Intervalo típico de dimensiones	Hasta 0,5 m de diámetro × hasta 0,5 m de alto
Masa típica	Hasta 200 kg
Isótopos típicos y actividad	¹⁹² Ir: 7,4 TBq (200 Ci); ⁶⁰ Co: 37 GBq (1 Ci); ¹³⁷ Cs: 111 TBq (30 Ci)
Véanse figs. 142 a 145	



FIG. 142. Bulto exterior de fuente gamma de alta energía con bulto y vasija interior blindada.



FIG. 143. Bulto exterior de fuente gamma de alta energía con bulto y vasija interior blindada (foto: MAYAK P.A.).



FIG. 144. Bulto exterior de fuente gamma de alta energía con bulto y vasija interior blindada (foto: MAYAK P.A.).



FIG. 145. Ejemplos de bultos de sobreenvase del tipo A para la expedición de sondas gamma (foto: Endress y Hauser).

Descripción de uso

Estos bultos se utilizan en el transporte de fuentes de radiación gamma de alta energía para la calibración y otros fines industriales, como se indica en la sección 6.6.

Los bultos suelen tener blindaje de plomo. En algunos casos, puede utilizarse uranio empobrecido. Los bultos de uranio empobrecido tienen que expedirse como radiactivos aún cuando no lleven carga útil. Del uranio empobrecido se emite un bajo nivel de radiación incluso cuando no hay carga útil.

Los contenedores por lo general pueden volver a utilizarse y expedirse normalmente por carretera, ferrocarril y vía marítima.

Los bultos en general se ajustan a las normas aplicables a los bultos del Tipo A del Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos del OIEA o, en caso contrario, a las del Tipo B.

En muchos casos, los dispositivos radiactivos como los descritos en la sección 5.12 se utilizan para el transporte y se ajustan a los reglamentos de transporte pertinentes. En estos casos, su embalaje se realiza con frecuencia en sobreenvasos adicionales que pueden proporcionar protección suplementaria ante un accidente, o simplemente pueden emplearse para reducir la tasa de dosis efectiva en la superficie y ayudar a la manipulación.

7.4. EMBALAJE DE FUENTES DE USO ÚNICO

Categoría de fuente	3: Peligrosa para la persona si no se controla correctamente y 4: Poco probable que sea peligrosa para la persona y 5: Muy poco probable que sea peligrosa para la persona
Intervalo típico de dimensiones	Cubo de hasta 1 m
Masa típica	Hasta 50 kg
Isótopos típicos y actividad	Todos

Véanse figs. 146, 147



FIG. 146. Componentes de un bulto típico de fuente del Tipo A de uso único (foto: QSA-Global).



FIG. 147. Detalle de un contenedor de blindaje interior de plomo de un bulto típico de fuente del Tipo A de uso único (foto: QSA-Global).

Descripción de uso

Estos bultos se utilizan para el transporte de casi todos los tipos de fuentes beta, gamma y de neutrones, siempre que la actividad sea lo suficientemente baja para que las tasas de dosis en la superficie se sigan manteniendo dentro de límites lícitos.

Los bultos tienen blindaje de plomo normalmente como método primario de limitación de dosis en la superficie. La distancia suplementaria a partir de la fuente radiactiva mantenida por el embalaje en la caja también reduce la dosis efectiva en la superficie del bulto.

Los bultos están concebidos solamente para uso único y pueden expedirse por carretera, ferrocarril y por vía aérea y marítima. No es habitual que se envíen sin contenido radiactivo.

Los bultos son visualmente semejantes a muchos otros bultos comerciales y sólo por su etiquetado puede determinarse la radiactividad.

Los bultos en general se ajustan a las normas aplicables a los bultos del Tipo A del Reglamento del OIEA para el transporte seguro de materiales radiactivos. Algunos bultos también se ajustan al Tipo B. Ello puede determinarse mediante el etiquetado detallado del bulto.

Apéndice I

FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA RADIACIÓN

I.1. ¿QUÉ ES LA RADIACIÓN?

La radiación se define en general como la energía en forma de fotones o partículas que se propaga a través del espacio. La radiación, a los efectos de la presente publicación, se refiere a la radiación ionizante capaz de ionizar los materiales biológicos y, por tanto, causar daños a las células vivas.

En el contexto de las fuentes radiactivas, la radiación ionizante comprende los fotones gamma y de rayos X y las partículas alfa, beta y neutrónicas.

I.2. FORMAS DE RADIACIÓN IONIZANTE

Hay cinco formas de radiación ionizante relacionadas con el contexto de este manual (véase la fig. 148):

- 1) *Radiación alfa*: Radiación de partículas de masa y energía relativamente grandes. Tiene un alcance relativamente corto. Se absorbe en 1 a 2 cm de aire, o en una hoja de papel o el tejido muerto de la capa exterior de la piel del ser humano.
- 2) *Radiación beta*: Electrón emitido por un núcleo del átomo. La partícula tiene muy poca masa y un alcance mayor que la radiación alfa. La radiación beta puede absorberse por una lámina de plástico, vidrio o metal. Puede penetrar la piel exterior y absorberse en el tejido vivo, causando ionización que puede tener efectos nocivos.
- 3) *Radiación gamma*: Fotón de alta energía emitido de un núcleo del átomo. El fotón tiene una masa insignificante y un gran alcance. Interactúa con los electrones del material en que se absorbe, causando ionización que puede ser nociva para el tejido vivo. Para el blindaje puede utilizarse por lo general material denso, como plomo o acero.
- 4) *Radiación neutrónica*: Neutrón emitido de un núcleo del átomo. Es relativamente pequeño y ligero desde el punto de vista atómico, no tiene carga y normalmente tiene gran energía y, en consecuencia, largo alcance. Dado que los neutrones no tienen carga, no causan directamente ionización; ahora bien, cuando chocan con los núcleos de los átomos en un material absorbente pueden dañarlos y hacerlos inestables, lo que

significa que pueden ser muy perjudiciales para el tejido vivo. Penetran muchos materiales con relativa facilidad y pueden blindarse con material hidrogenado, como agua o parafina.

- 5) **Rayos X:** Fotones similares a los de la radiación gamma que se producen cuando los electrones pierden su energía a medida que se desaceleran. Se comportan de manera semejante a los rayos gamma.

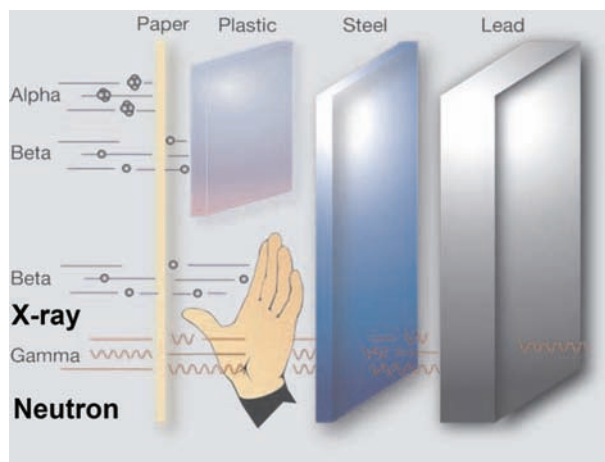


FIG. 148. Formas de radiación ionizante de interés para este manual.

I.3. EFECTO DE LA RADIACIÓN IONIZANTE EN EL TEJIDO VIVO

Cuando la radiación atraviesa la materia, deposita una parte de su energía en el material absorbente mediante la ionización o excitación de los átomos. La ionización de los átomos en el tejido, aparejada a los cambios químicos, es la que causa los efectos biológicos nocivos de la radiación. Todavía no comprendemos plenamente todas las formas en que la radiación daña las células, pero muchas entrañan cambios en el ácido desoxirribonucleico (ADN). Este daño puede producir efectos biológicos, incluso la muerte de la célula o su desarrollo anormal.

Existen dos tipos principales de efectos de la radiación en la salud. Los efectos deterministas sólo ocurren si la dosis o la tasa de dosis (es decir, la dosis por unidad de tiempo) es superior a un valor umbral. Los efectos no tardan en manifestarse y son más graves cuando las dosis y las tasas de dosis son elevadas. Son ejemplos de el síndrome agudo de radiación (un síndrome que representa la unión de efectos en el organismo como resultado de la exposición a grandes

cantidades de radiación), las quemaduras de la piel y la esterilidad. Si la dosis es baja o se administra durante un período más prolongado, hay más posibilidades de que las células del cuerpo dañadas se reparen por sí solas; aun así, pueden ocurrir efectos nocivos. Aunque no es seguro que se produzcan efectos de este tipo, llamados estocásticos, cuanto más altas sean las dosis mayores serán las posibilidades de que aparezcan; sin embargo, el momento en que se produce un efecto y su gravedad no depende de la dosis, como evidencian diversos tipos de cáncer).

I.4. LIMITACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN IONIZANTE

El nivel de exposición del ser humano a la radiación ionizante puede controlarse y limitarse de tres modos:

- 1) Distancia;
- 2) Tiempo;
- 3) Blindaje.

Para las personas que descubren fuentes o dispositivos, la distancia y el tiempo son los mejores métodos de controlar y limitar la exposición a la radiación. Para los expertos de autoridades civiles, el blindaje es otro método para reducir su exposición.

En caso de que se descubra una fuente o dispositivo no controlado, el público puede protegerse de la radiación mediante la combinación de la distancia y el tiempo. Por regla general, la intensidad del campo de radiación de una fuente puntual de radiación se reduce en proporción al cuadrado de la distancia. Cuando se identifican fuentes o dispositivos, es importante abandonar la zona de inmediato a los efectos de reducir al mínimo el tiempo y por tanto, la exposición a la radiación. El blindaje de las fuentes o los dispositivos debería utilizarse atendiendo a las evaluaciones de los expertos de las autoridades civiles.

I.5. INFORMACIÓN ADICIONAL

En las refs. [12 a 14] puede obtenerse más información.

Apéndice II

LISTA DE DISPOSITIVOS Y DATOS DE REFERENCIA RESUMIDOS QUE FIGURAN EN LA SECCIÓN 5

CUADRO 1. LISTA DE DISPOSITIVOS Y DATOS DE REFERENCIA RESUMIDOS

Referencia	Descripción del objeto	Categoría	Aplicación principal	Aplicación secundaria	Masa típica	Dimensiones típicas	Observaciones
5.1	Planta de esterilización industrial	1	Industrial	Investigación	n.a.	Edificio de 100 m × 200 m × 50 m	
5.2	Equipo de teleterapia	1	Médica	Investigación	500 a 1 000 kg	4 m de largo × 2 m de ancho × 3 m de alto	
5.3	Irradiador de sangre	1	Médica		1 500 a 3 500 kg	1 m de largo × 1 m de ancho × 1,5 m de alto	
5.4	Equipo de teleterapia de haces múltiples (cuchillo gamma)	1	Médica		20 000 kg	4 a 5 m de largo × 2 m de ancho × 2,5 m de alto	Dispositivo blindado
5.5	Irradiador de muestras a pequeña escala	1	Investigación		1 000 a 6 000 kg	1,5 m de largo × 1,5 m de ancho 2 m de alto	
5.6	Irradiador de semillas	1	Agrícola	Industrial	Cámara (desmontada) 3 000 a 6 000 kg	1,5 m de largo × 1,5 m de ancho × 2 m de alto	Puede ensamblarse en vehículos
5.7	Generadores termoelectrónicos radioisotópicos (RTG)	1 ^a	Otra	Otra	500 a 1 000 kg	1,5 m de largo × 1,5 m de ancho × 1,5 m de alto	Excluidos los marcapasos
5.8	Tapón ciego de sonda gamma para diagrfia de pozos	2	Industrial		500 a 1 000 g	20 a 60 mm de diámetro × 100 a 150 mm de largo	

CUADRO 1. LISTA DE DISPOSITIVOS Y DATOS DE REFERENCIA RESUMIDOS (cont.)

Referencia	Descripción del objeto	Categoría	Aplicación principal	Aplicación secundaria	Masa típica	Dimensiones típicas	Observaciones
5.9	Tapón ciego de sonda de neutrón para diagrafía de pozos	2	Industrial		400 a 1 000 g	20 a 60 mm de diámetro × 100 × 200 mm de largo	
5.10	Proyector de gammagrafía	2	Industrial		8 a 35 kg	350 mm de largo × 200 mm de ancho × 240 mm de alto	Empleado para fuentes de Ir-192, Se-75
5.10	Intercambiador de fuente de gammagrafía	2	Industrial		40 kg	250 mm de largo × 210 mm de ancho × 340 mm de alto	Intercambiador de fuente
5.10	Proyector de gammagrafía (Co-60)	2	Industrial		100 a 200 kg	900 mm de largo × 900 mm de ancho × 900 mm de alto	Dispositivo semiportátil de Co-60
5.11	Equipo de gammagrafía “crawler” para inspección de soldaduras en tuberías	2	Industrial		50 a 100 kg	800 a 1 500 mm de largo × 400 mm de ancho × 400 mm de alto	
5.12	Sonda gamma de alta energía de densidad, espesor y nivel	3	Industrial		20 a 400 kg	200 a 400 mm de diámetro × 300 a 700 mm de largo	
5.13	Sonda gamma de baja energía de densidad, espesor y nivel	3	Industrial		20 a 50 kg	200 a 400 mm de diámetro, 300 a 700 mm de largo	

CUADRO 1. LISTA DE DISPOSITIVOS Y DATOS DE REFERENCIA RESUMIDOS (cont.)

Referencia	Descripción del objeto	Categoría	Aplicación principal	Aplicación secundaria	Masa típica	Dimensiones típicas	Observaciones
5.14	Sonda beta de densidad y espesor	4	Industrial		10 a 20 kg	100 a 300 mm de largo × 100 × 300 mm de ancho × 100 × 300 mm de alto	
5.15	Medidor de humedad de material a granel	3	Industrial		10 a 1 000 kg	300 a 1 000 mm de largo × 300 × 500 mm de ancho × 300 × 500 mm de alto	
5.16	Medidor de humedad/densidad del suelo	4	Industrial	Agrícola	30 kg	200 mm de largo × 300 mm de ancho × 1 000 mm de alto	
5.17	Analizador de fluorescencia de rayos X	5	Industrial	Investigación	Manual 1 a 2 kg Laboratorio y control de procesos : 20 a 100 kg	Manual: 200 mm de largo × 100 mm de ancho × 100 mm de alto Laboratorio y control de procesos: 500 mm de largo × 500 mm de ancho × 1 500 mm de alto	
5.18	Equipo de braquiterapia	2	Médica		50 a 250 kg	300 a 600 mm de largo × 300 × 600 mm de ancho × 800 × 1 500 mm de alto	

CUADRO 1. LISTA DE DISPOSITIVOS Y DATOS DE REFERENCIA RESUMIDOS (cont.)

Referencia	Descripción del objeto	Categoría	Aplicación principal	Aplicación secundaria	Masa típica	Dimensiones típicas	Observaciones
5.19	Eliminador de estática	4	Industrial		Barras hasta 2 kg Pistolas hasta 500 g	Barras hasta 2 000 mm de largo × 30 mm de ancho × 10 mm de profundidad Pistolas: 30 mm de diámetro × 80 mm de largo	
5.20	Pararrayos radiactivo	5	Industrial	Doméstica	2 a 10 kg	100 a 300 mm de diámetro × 500 × 1 000 mm de largo	
5.21	Señal auto-luminiscente	5	Industrial		1 a 10 kg	Hasta 600 mm de largo × hasta 200 mm de ancho × hasta 100 mm de profundidad	
5.22	Detector de humo	5	Doméstica	Industrial	100 a 300 g	100 a 150 mm de diámetro × 15 a 30 mm de alto	

^a Por “categoría” se entiende las categorías del OIEA definidas en la sección 4.8, donde la categoría 1 es extremadamente peligrosa para la persona y la categoría 5 es muy poco probable que sea peligrosa para la persona.

Apéndice III

LISTA DE FUENTES Y REFERENCIAS CRUZADAS DE APLICACIONES MENCIONADAS EN LA SECCIÓN 6

CUADRO 2. LISTA DE FUENTES Y REFERENCIAS CRUZADAS DE APLICACIONES

Referencia	Descripción del objeto	Categoría	Dimensiones típicas	Típicamente relacionadas con (no. de referencia de dispositivo)
6.1	Fuente de teleterapia de Co-60	1	Cilindro de 20 mm de diámetro x 30 mm de largo	5.2 5.4
6.2	Fuente de esterilización gamma de Co-60	1	11 mm de diámetro x 450 mm de largo	5.1 5.5
6.3	Fuente de generador termoeléctrico radioisotópico de Sr-90	1	Hasta 100 mm de diámetro x 200 mm de largo	5.7
6.4	Fuentes de gammagrafía industrial	2	Hasta 7 mm de diámetro x 15 mm de largo; cable flexible de hasta 200 mm de largo	5.10 5.11
6.5	Fuentes de braquiterapia de carga diferida a distancia de alta tasa de dosis	2	Fuentes modernas: Hasta 3 mm de diámetro x 15 mm de largo; cable flexible de hasta 300 mm de largo Dispositivos más antiguos: Esféricos aprox. 3 mm de diámetro, actividad: Cs-137	5.18
6.6	Fuentes gamma de calibración industrial de alta energía	3 o 4	Cápsulas típicamente cilíndricas; 3 a 12 mm de diámetro x 5 a 15 mm de largo	5.12 5.16
6.7	Fuentes de neutrones de calibración industrial	3 o 4	6 mm de diámetro x 12 mm de largo o 8 a 20 mm x 12 a 30 mm de largo	5.15 5.16
6.8	Fuentes gamma y de neutrones de diagrfía de pozos	3	Fuentes gamma 8 a 20 mm de diámetro x 15 a 40 mm de largo Fuentes de neutrones: 15 a 25 mm de diámetro x 25 a 60 mm de largo	5.8 5.9

CUADRO 2. LISTA DE FUENTES Y REFERENCIAS CRUZADAS DE APLICACIONES (cont.)

Referencia	Descripción del objeto	Categoría	Dimensiones típicas	Típicamente relacionadas con (no. de referencia de dispositivo)
6.9	Fuentes de calibración industrial fijas de baja energía	4	10 a 50 mm de diámetro × 7 a 15 mm de alto	5.13 5.14
6.10	Fuentes semilla de braquiterapia de implante permanente y baja tasa de dosis	5	Menos de 1 mm de diámetro × menos de 5 mm de largo	Ningún dispositivo asociado
6.11	Placas oftálmicas	5	Menos de 1 mm de diámetro × menos de 5 mm de largo	Ningún dispositivo asociado
6.12	Fuentes analíticas gamma de baja energía	5	3 a 15 mm de diámetro × 7 a 10 mm de alto	5.17
6.13	Fuentes de calibración y referencia	5	Varios tamaños y configuraciones	Ningún dispositivo asociado

REFERENCIAS

- [1] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Manual para primeros actuantes ante emergencias radiológicas, IAEA-EPR-First Responders, OIEA, Viena (2007).
- [2] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Preparación y respuesta a situaciones de emergencia nuclear o radiológica, GS-R-2, OIEA, Viena (2004).
- [3] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos, Colección de Normas de Seguridad del OIEA No. TS-R-1, OIEA, Viena, (2005).
- [4] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, El accidente radiológico de Goiânia, OIEA, Viena (1988).
- [5] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Accidental Overexposure of Radiotherapy Patients in Bialystok, OIEA, Viena (2004).
- [6] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Radiological Accident in Yanango, OIEA, Viena (2000).
- [7] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Radiological Accident in Lilo, OIEA, Viena (2000).
- [8] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Radiological Accident in Samut Prakarn, OIEA, Viena (2002).
- [9] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Technical Data on Nucleonic Gauges, IAEA-TECDOC-1459, OIEA, Viena (2005).
- [10] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Radiation Protection and Safety in Industrial Radiography, Colección de Informes de Seguridad No. 13, OIEA, Viena (1999).
- [11] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Categorization of Radioactive Sources, Colección de Normas de Seguridad del OIEA No. RS-G-1.9, OIEA, Viena (2005).
- [12] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Sealed Radioactive Sources Toolkit, folleto informativo, OIEA, Viena (2005).
- [13] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Radiation, People and the Environment, folleto informativo, OIEA, Viena (2004).
- [14] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Security of Radioactive Sources: Interim Guidance for Comment, IAEA-TECDOC-1355, OIEA, Viena (2003).

DEFINICIONES

Las definiciones que figuran a continuación no tienen que ajustarse forzosamente a las definiciones adoptadas en otros lugares de uso internacional. Los términos de carácter más general relacionados con la protección radiológica pueden encontrarse en el Glosario de seguridad del OIEA: versión 2.0, en el siguiente sitio web: <http://www-ns.iaea.org/standards/safety-glossary.htm>

actividad. Tasa en que ocurren transformaciones nucleares en un material radiactivo. Utilizada como medida de la cantidad de un radionucleido presente. Unidad becquerelio, símbolo Bq. 1 Bq = 1 transformación por segundo. Anteriormente se expresaba en curios (Ci); los valores de la actividad pueden darse en Ci (con el equivalente en Bq entre paréntesis) si se citan de una referencia en que se emplea el Ci como unidad. La unidad de actividad es igual a $3,7 \times 10^{10}$ Bq (exactamente).

átomo. Unidad de materia consistente en un núcleo único rodeado de varios electrones iguales al número de protones en el núcleo. La parte más pequeña de un elemento que puede combinarse químicamente con otros átomos.

becquerelio. Véase actividad.

braquiterapia. Uso de una fuente radiactiva sellada en el cuerpo o sobre él para tratar ciertos tipos de cáncer.

bulto de transporte. Contenedor en que se transportan las fuentes selladas. Los bultos de transporte se ajustan a los reglamentos internacionales para el transporte seguro de materiales radiactivos.

disposición final. En relación con los desechos radiactivos, colocación en una instalación apropiada sin intención de recuperación.

dispositivo. Pieza de maquinaria o instrumento en que se utiliza una fuente radiactiva y que aloja la fuente en condiciones de seguridad. La fabricación de dispositivos se ajusta en general a las normas de seguridad nacionales o internacionales.

efecto determinista. Efecto de la radiación en la salud *para* el que existe por lo general un nivel umbral de dosis por encima del cual la gravedad del efecto aumenta al elevarse la dosis. Tal efecto se describe como “efecto

determinista grave” cuando causa o puede causar la muerte o cuando produce una lesión permanente que merma la calidad de vida.

electrón. Partícula elemental estable que tiene una carga eléctrica negativa de $1,6 \times 10^{-19}$ C y una masa de $9,1 \times 10^{-31}$ kg.

fotón. Cuántum de radiación electromagnética.

fuelle. Véase fuente radiactiva.

fuelle radiactiva. Medio de contención del material radiactivo en que el material radiactivo se mantiene protegido en una cápsula hermética pero que permite que se emita la radiación para su fin previsto. También conocida como fuente sellada o fuente. Las fuentes radiactivas se fabrican de conformidad con el derecho internacional a los fines de la integridad.

fuelle sellada. Véase fuente radiactiva.

ionización. Proceso mediante el cual un átomo o molécula adquiere o pierde una carga eléctrica. Producción de iones.

irradiación. Acto de quedar expuesto a la radiación. Puede ser intencional, por ejemplo, debido a la irradiación industrial utilizada para esterilizar equipo médico; o accidental, por ejemplo, debido a la proximidad a una fuente que emite radiación. La irradiación no suele dar por resultado contaminación radiactiva, pero puede causar daños según la dosis recibida.

isótopos. Nucleidos con el mismo número de protones pero con números diferentes de neutrones. No son sinónimo de nucleido.

medicina nuclear. Uso de los radionucleidos para el diagnóstico o tratamiento de enfermedades en pacientes.

molécula. Grupo de átomos enlazados entre sí químicamente. La parte más pequeña de una sustancia que puede existir por sí misma y conservar las propiedades de la sustancia.

neutrón. Partícula elemental que no tiene carga eléctrica, masa de aproximadamente $1,67 \times 10^{-27}$ kg y vida media de unos 1 000 segundos.

nucleido. Especie de átomo caracterizado por el número de protones y neutrones y el estado de energía del núcleo.

núcleo (de un átomo). La parte central de carga positiva de un átomo. Contiene los protones y neutrones.

número atómico. Número de protones en el núcleo de un átomo. Símbolo Z.

número másico. Número de protones más neutrones en el núcleo de un átomo; abreviatura A.

órgano regulador. Entidad a la que un gobierno nacional confiere facultades para reglamentar la seguridad nuclear, radiológica, de desechos radiactivos y del transporte.

partícula alfa. Partícula consistente en dos protones más dos neutrones (es decir, el núcleo de un átomo de helio) emitida por un radionucleido.

partícula beta. Electrón o protón emitido por un núcleo atómico o neutrón en una transformación nuclear.

período de semidesintegración. En el caso de un radionucleido, tiempo necesario para que su actividad se reduzca a la mitad, por un proceso de desintegración radiactiva. Símbolo: $T_{1/2}$.

protección radiológica. Protección de las personas contra los efectos de la exposición a la radiación ionizante, y medios para lograrlo.

radiación. Energía, en forma de ondas o partículas, que se propaga a través del espacio. Se utiliza con frecuencia para la radiación ionizante en el presente texto, salvo cuando es necesario evitar la confusión con la radiación no ionizante.

radiación electromagnética. Radiación consistente en campos eléctricos y magnéticos que oscilan en ángulo recto con respecto a los demás. Sus longitudes de onda van desde muy largas (baja energía), como las ondas de radio, pasando por longitudes de onda intermedias, como la luz visible, hasta longitudes de onda muy cortas (alta energía), como los rayos gamma.

radiación ionizante. A los efectos de la protección radiológica, radiación capaz de producir pares de iones en material(es) biológico(s). Son ejemplos las partículas alfa, los rayos gamma, los rayos X y los neutrones.

radiactividad. Fenómeno por el cual los átomos experimentan una desintegración espontánea al azar, normalmente acompañada de la emisión de radiación.

radiactivo. Que tiene radiactividad. Para fines jurídicos y reglamentarios, el significado de radiactivo a menudo se limita a los materiales designados en la legislación nacional o por un órgano regulador que están sujetos a control reglamentario debido a su radiactividad.

radical libre. Átomo o grupo de átomos no cargados que tienen uno o más electrones desapareados que forman parte de un enlace químico. Generalmente son muy reactivos desde el punto de vista químico.

radionucleido. Nucleido radiactivo.

radioterapia. Empleo de haces de radiación para tratar enfermedades, normalmente cáncer, en pacientes.

rayo gamma. Radiación electromagnética penetrante emitida por un núcleo atómico durante la desintegración radiactiva y que tiene longitudes de onda mucho más cortas que las de la luz visible.

rayos X. Radiación electromagnética penetrante emitida por un átomo cuando los electrones en el átomo pierden energía, y que tiene longitudes de onda mucho más cortas que las de la luz visible. Véanse rayos gamma.

riesgo. Probabilidad de que un determinado efecto para la salud ocurra en una persona o grupo de personas como resultado de su exposición a la radiación.

uranio empobrecido. Uranio que contiene un porcentaje de masa de ^{235}U inferior al 0,7% hallado en el uranio natural. Subproducto de la producción de uranio enriquecido. Utilizado como blindaje contra la radiación en embalajes de transporte radiactivo y en algunos dispositivos.

COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y EXAMEN

Al-Mughrabi, M.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Ambrose, J.	Departamento de Seguridad Interna (Estados Unidos de América)
Andrievskaya, L.A.	Organismo Federal de Energía Atómica (Federación de Rusia)
Benz, D.	Endress+Hauser (Alemania)
Calvante, V.L.	Comissão Nacional de Energia Nuclear (Brasil)
Garcia, A.	Europol
Ghosh, J.K.	Consejo de Tecnología Isotópica y de Irradiación (India)
Harris, T.	Comisión Reguladora Nuclear (Estados Unidos de América)
McAlpin, J.	Laboratorio Nacional de Los Alamos, (Estados Unidos de América)
Neubauer, J.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Parfitt, J.	Reviss Services (Reino Unido)
Schlueck, R.K.	Departamento de Bomberos de Nueva York (Estados Unidos de América)
Shaddad, I.A.R.	Comisión de Energía Atómica (Sudán)
Stevens, R.	LSS Technical Data Assessment (Estados Unidos de América)
Strepel, S.	AEA Technology QSA GmbH (Alemania)
Svahn, B.	Autoridad de Protección Radiológica (Suecia)

El presente manual ha sido elaborado como parte del Plan de Acción relativo a la seguridad tecnológica de las fuentes de radiación y a la seguridad física de los materiales radiactivos. Está encaminado a: servir de ayuda para reconocer e identificar objetos que se consideren dispositivos, fuentes y bultos de transporte radiactivos; impartir instrucciones sobre qué hacer y cómo obtener ayuda ulterior; fomentar el conocimiento acerca de la existencia de los dispositivos, fuentes y bultos de transporte radiactivos; y suministrar información sobre el Catálogo internacional de fuentes de fuentes y dispositivos radiactivos sellados por conducto de los coordinadores designados en los Estados Miembros del OIEA. También ayudará a identificar las fuentes relacionadas con los sucesos notificados para su inclusión en la base de datos del OIEA sobre tráfico ilícito.

**ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA
VIENA**

ISBN 978-92-0-300209-7

ISSN 1816-9317