

MÓDULO 16:

EMERGENCIAS RADIOLÓGICAS

- 16.1 CONSIDERACIONES ADICIONALES PARA LOS ACCIDENTES EN INSTALACIONES NUCLEARES DISTINTAS DE LAS CENTRALES NUCLEARES**
- 16.2 CONSIDERACIONES ADICIONALES PARA LOS ACCIDENTES CON FUENTES RADIATIVAS CON CONSECUENCIAS AMBIENTALES**

Profesor: D. Agustín Herrero Ordejón

PROINSA

16.1 CONSIDERACIONES ADICIONALES PARA LOS ACCIDENTES EN INSTALACIONES NUCLEARES DISTINTAS DE LAS CENTRALES NUCLEARES

Objetivos

Ayudar a los participantes a comprender los riesgos asociados a las instalaciones nucleares distintas a las centrales nucleares, respecto con los de éstas últimas. Además, se presentan las diferencias en las consecuencias potenciales y preparación de emergencias en comparación con las centrales nucleares.

Contenidos

- Reactores de investigación
- Instalaciones de procesamiento de combustible
- Transporte de combustible nuclear irradiado

16.1.1. REACTORES DE INVESTIGACIÓN

Riesgo Potencial

Tal y como se ha descrito en el módulo 1, existen varios tipos de reactores de investigación, con distintos propósitos y potencias de funcionamiento. Pueden ser pequeños reactores utilizados para la enseñanza, la producción de isótopos, o reactores de alto flujo para ensayos de combustible y materiales, o prototipos de los reactores de producción de energía eléctrica.

Su potencia térmica puede variar de unos pocos kW a 100 MW o más. El inventario de radionucleidos en un reactor de investigación depende de su potencia y del grado de quemado del combustible, así como del enriquecimiento del mismo. En los reactores más pequeños el inventario es lo suficientemente reducido como para asegurar que las consecuencias fuera del emplazamiento serán de carácter menor.

Asimismo, la magnitud de los sistemas de seguridad y del personal que lo opere difiere entre uno u otro tipo de reactor. Los reactores de investigación de mayor tamaño pueden tener sistemas de seguridad comparables a los que se encuentran en las centrales nucleares. Los reactores pequeños rara vez tienen una contención hermética, pero puede disponer de dispositivos inherentes de seguridad que limiten la emisión al exterior de radionucleidos.

Los reactores de investigación a veces se encuentran situados en las cercanías o en el interior de grandes poblaciones. Esto puede suponer que en caso de accidente la población pueda recibir dosis individuales mayores para una magnitud de emisión dada y puede también afectar a las posibles medidas de protección a tomar.

Planificación de Emergencias

Aunque las consecuencias potenciales en el exterior de los accidentes en reactores de investigación pueden ser considerablemente menores que las correspondientes a las centrales nucleares, los elementos de planificación de emergencias son los mismos que ya han sido presentados en los módulos previos de este curso. El documento del OIEA GS-R-2, "Preparación y respuesta a situaciones de emergencia nuclear o radiológica" define categorías para la planificación de emergencias basadas en la severidad de las emisiones potenciales y en los efectos sobre la salud que puede provocar una instalación en caso de accidente. Estas categorías son indicadores de la magnitud del riesgo y del nivel de respuesta necesario durante un accidente.

Los reactores de investigación normalmente pertenecen a la categoría II y III del documento OIEA GS-R-2 (potencial de emisión por encima de los niveles de intervención genéricos, pero con dosis pequeñas, sin riesgo de producir efectos deterministas sobre la salud en el exterior de la instalación).

El nivel de preparación requerido está basado en el análisis de accidentes potenciales y sus consecuencias. Esto habitualmente incluye el análisis de un abanico de accidentes posibles así como la evaluación de la efectividad de las acciones de protección.

El plan de emergencia exterior será preparado mediante la colaboración de todas las organizaciones que se puedan ver involucradas en la adopción de medidas de protección.

Los requisitos impuestos en la gestión de la preparación de emergencias y de la respuesta en emergencia son esencialmente los mismos que los presentados en el Módulo 3 del curso, teniendo en cuenta, como se describe en el documento OIEA GS-R-2, la categoría de planificación de emergencias de la instalación.

16.1.2. INSTALACIONES DE REPROCESAMIENTO DE COMBUSTIBLE

Riesgo potencial

El reprocesamiento de combustible gastado consiste en la separación de los materiales fisiles reutilizables de los productos de fisión no deseables. Una instalación de reprocesamiento incluye instalaciones de almacenamiento para el combustible, una planta de reprocesamiento y las consiguientes instalaciones de residuos radiactivos resultantes, incluidos los residuos líquidos altamente radiactivos. Los posibles riesgos de una planta de reprocesamiento de combustible derivan del elevado inventario de materiales radiactivos que se almacenan y procesan.

En las instalaciones de almacenamiento previo (antes de comenzar el reprocesamiento) pueden llegar a almacenarse grandes cantidades de combustible. Antes de su traslado a la planta de reprocesamiento, el combustible se ha almacenado (generalmente) en las centrales nucleares durante un tiempo de enfriamiento de un año o más, a fin de que el inventario de radionucleidos de vida corta (es decir, I-131 y la mayoría de los gases nobles radiactivos) se reduzca. El calor

de decaimiento del combustible una vez que éste llega a la planta de reprocesamiento, es entonces mucho menor que el del combustible del núcleo de una central nuclear. Los riesgos de esta parte de las instalaciones de reprocesamiento son, por lo tanto, comparables a los riesgos de cualquier instalación de almacenamiento de combustible gastado.

En comparación con las cantidades de materiales radiactivos mantenidos en el almacén de combustible y con el almacén de residuos líquidos de alta actividad, el inventario de radionucleidos en las etapas de proceso de la planta es relativamente bajo. Sin embargo, durante todas las etapas del proceso los materiales están en formas de fácilmente dispersables y son objeto de enérgicos procesos químicos y físicos. Se manejan cantidades significativas de disolventes del combustible y algunos materiales pirofóricos. Los procesos químicos implican el uso de agentes oxidantes y reductores fuertes. Es posible alcanzar concentraciones inflamables, de gases o vapores. En algunas circunstancias el combustible nuclear o su revestimiento pueden tener potencial de ignición. Hay riesgo de explosión del gas hidrógeno que se usa en el proceso o se genera por radiolisis. Debido al relativamente bajo inventario de sustancias radiactivas y a las características de seguridad incorporadas en el diseño, los riesgos de incendio, explosión o criticidad que podrían dar lugar a una gran emisión son bajos.

Potencialmente, el riesgo de accidente más grave está asociado con los residuos líquidos almacenados. Durante una serie de años, grandes cantidades de residuos líquidos concentrados de alta actividad se almacenan en tanques blindados y son enfriados en la planta de reprocesamiento. La actividad almacenada puede ser de exabequerels (10^{18} Bq) por tanque. Los fenómenos más importantes que suceden en los tanques son la radiolisis (producción de gas hidrógeno), la precipitación de yodos (a una forma química que puede ser explosiva) y la disipación de calor. Por tanto, son necesarios sistemas de seguridad fiables, incluidos sistemas de refrigeración múltiples y redundantes para proporcionar capacidad de refrigeración ininterrumpida, ventilación forzada, filtración múltiple y equipos de medida y vigilancia adecuados para la temperatura, control del nivel del líquido y detección de fugas. Un accidente con vertido líquido puede producir contaminación radiactiva en el mar, ríos, lagos, o agua subterráneas.

Los riesgos de la operación de las instalaciones de reprocesamiento han sido tenidos en cuenta en el diseño y funcionamiento de las plantas y históricamente se han producido pocos accidentes con consecuencias notables fuera del emplazamiento, aunque alguno de ellos fue de gran importancia (Kisthym, URSS, 1957).

Preparación de emergencias

Aparte de los diferentes escenarios accidentales y de los diferentes términos fuente, las fases básicas de la planificación de emergencias son más o menos iguales que en el caso de las centrales nucleares. Estas fases han sido tratadas en anteriores módulos de este curso (por ejemplo, el Módulo 3). Las consecuencias de un accidente de fuga de desechos líquidos deben ser contrarrestadas de una manera diferente al caso de una descarga a la atmósfera.

16.1.3. TRANSPORTE DE COMBUSTIBLE NUCLEAR IRRADIADO

Riesgo potencial

El combustible nuclear irradiado es altamente radiactivo y, por tanto, requiere un blindaje adecuado y un sólido contenedor de transporte con suficiente capacidad de refrigeración y de demostrada seguridad frente a la actividad. Sin embargo, debido al período de enfriamiento necesario antes que del transporte pueda tener lugar, el inventario de nucleidos volátiles en el combustible es limitado y el impacto radiológico potencial de un accidente de transporte es inferior al de un accidente de un reactor. Los contenedores de transporte son de un tipo aprobado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, que cumplan la norma industrial ISO-7195 y otros ensayos específicos, que aseguran su funcionamiento tanto en condiciones normales como en condiciones de accidente en el transporte, lo que reduce aun más el riesgo de un accidente con consecuencias que vayan más allá de las locales.

La actividad contenida en un contenedor de transporte de combustible gastado puede ser tal vez de hasta cien petabequerelios ($1\text{PBq} = 10^{15} \text{ Bq}$). Los nucleidos volátiles Kr-85 y I-129 son los principales contribuyentes al riesgo radiológico. La ruptura de un contenedor podría tener serias consecuencias en la salud y seguridad en las inmediaciones del lugar del accidente. Tal accidente sin incendio podría causar principalmente dosis por inhalación de Kr-85 cerca del lugar del accidente. Si el escenario accidental incluye el incendio, la dosis en la proximidad del lugar puede ser muy alta y es posible que sea necesario ordenar la evacuación de la población que habita en la dirección del viento. La irradiación externa por elementos de combustible expuestos también puede ser muy alta en las proximidades del contenedor.

Posiblemente tenga que ser limitado el acceso al lugar del accidente. Los efectos de la contaminación radiactiva tendrían que tenerse en cuenta tanto durante la fase aguda del accidente como en acciones posteriores.

El envío de combustible nuclear irradiado es un proceso en el que participan varias organizaciones, incluso más que las involucradas en la planificación de emergencias en una central nuclear. Aunque las consecuencias de un accidente de transporte serían menores que las de un accidente grave de una central nuclear, es necesaria la preparación a lo largo de la ruta de transporte.

Planificación de la respuesta en emergencia

Un plan de emergencia para el transporte de combustible irradiado es diferente que el de una central nuclear. El tipo de plan de emergencia necesario tiene, en cierta medida, la misma estructura que los planes necesarios para otros accidentes de transporte de mercancías peligrosas. Un accidente de transporte puede ocurrir en cualquier lugar, incluidas las zonas remotas donde el acceso puede ser difícil y en las zonas pobladas donde el control del acceso del público puede ser necesario. Los planes de respuesta pueden tener que ser ejecutados en terrenos difíciles y en condiciones meteorológicas adversas. Como muchas de las organizaciones implicadas son las mismas (la policía, los bomberos, o las organizaciones militares), los planes de emergencia para el transporte de combustible irradiado deben ajustarse lo

más posible a las capacidades existentes y a los procedimientos para hacer frente a otros accidentes de transporte.

Un plan de emergencia debería cubrir al menos:

- Las bases de planificación.
- Las responsabilidades, capacidades y funciones de las organizaciones implicadas.
- Los procedimientos de alerta y notificación a las personas y organizaciones clave.
- Los métodos de alerta y comunicación al público.
- Los niveles de intervención para exposición y contaminación.
- Las medidas de protección.
- Los procedimientos para acciones de respuesta.
- Los recursos médicos y de salud pública.
- Los procedimientos para la formación, entrenamiento, realización de ejercicios y actualización de los planes.
- La información pública.

Las bases de planificación básica deben ser determinada considerando:

- El sistema de transporte utilizado.
- El tipo de recipiente utilizado para el transporte.
- Las consecuencias de los accidentes de transporte.

Respuesta a accidentes durante el transporte

Las principales medidas que deben tomarse como respuesta a los accidentes durante el transporte son:

- Evitar cualquier configuración de elementos combustibles que pueda producir criticidad.
- Rescate y ayuda de emergencia a las víctimas.
- Control de incendios y otras consecuencias comunes a los accidentes de transporte.
- Control de cualquier riesgo de irradiación y prevención de la dispersión de la contaminación radiactiva.
- Descontaminar y restaurar la vía pública y delimitar las zonas contaminadas
- Descontaminación de personas afectadas.
- Descontaminar las cercanías del lugar del accidente y llevarlo a situación segura.

El transporte de combustible irradiado requiere la capacidad de iniciar de inmediato la respuesta ante una emergencia en cualquier punto a lo largo de la ruta de transporte. Esto normalmente requiere de un grupo de especialistas para acompañar el transporte y de acuerdos de comunicación para alertar a las autoridades de emergencia locales. Algunas de las acciones que se deben planificar son la evaluación del riesgo radiológico, el control de accesos y las posibles medidas de protección.

Responsabilidades de la planificación y preparación de emergencias

Las responsabilidades para hacer frente a un accidente durante el transporte están por lo general divididas entre varias organizaciones. La responsabilidad fundamental recae en la organización que envíe el transporte, con la responsabilidad de garantizar que el transportista tiene plenos conocimientos de los procedimientos a seguir en caso de accidente. Puede haber varias organizaciones gubernamentales, así como autoridades locales, cuyas acciones deberían coordinarse.

Formación, ejercicios y actualización

Se debe proporcionar formación relacionada con las instrucciones de emergencia y con los riesgos potenciales del transporte al personal de las organizaciones involucradas en caso de accidente. La formación se debería proporcionar tanto al personal que se necesita en el lugar del accidente durante la fase inicial como a los expertos técnicos que pueden ser requeridos para apoyo técnico.

16.1.3. BIBLIOGRAFÍA

1. Project PH REG 06.4/97: Training on Off-Site Emergency Management in Central Eastern Europe Course Training Material.
2. La Seguridad del Ciclo del combustible nuclear NEA/OCDE. 1993.
3. Guía de Seguridad nº 87 OIEA: Planificación y preparación de la respuesta en emergencia para accidentes de transporte de materiales radiactivos.
4. Guía de Seguridad nº 80 OIEA: Listas de requisitos para el transporte de tipos específicos de envíos de material radiactivo.
5. Documento OIEA OIEA GS-R-2: Método para el desarrollo de la preparación de la respuesta en emergencia para accidentes nucleares y radiológicos.
6. Guía de Seguridad GSG-06.02 del CSN: Programa de protección radiológica aplicable al transporte de materiales radiactivos.
7. Guía de Seguridad GSG-06.03 del CSN: Instrucciones escritas de emergencia aplicables al transporte de materiales radiactivos por carretera
8. Guía de Seguridad GSG-06.04 del CSN: Documentación para solicitar autorizaciones en el transporte de material radiactivo: aprobaciones de bultos y autorización de expediciones de transporte

16.2 CONSIDERACIONES ADICIONALES PARA LOS ACCIDENTES CON FUENTES RADIATIVAS CON CONSECUENCIAS AMBIENTALES

Objetivos

Después de este tema los participantes tendrán conocimiento de temas importantes que deben tenerse en cuenta en el desarrollo de las medidas de pre-emergencia para situaciones de incidente o accidente en el uso de las radiaciones.

Contenidos

- General
- Planificación de pre-emergencia, clasificación de fuentes
- Tipos de riesgos
- Plan de contingencia general para incidentes con radiaciones

16.2.1. GENERAL

El uso de las fuentes de radiación de diversos tipos y actividades está muy extendido en la industria, la medicina, la investigación y la enseñanza. El uso de las radiaciones en general, ha ido acompañada de buenos niveles de seguridad. Sin embargo, el control de las fuentes radiactivas no es siempre el adecuado. La pérdida de control sobre las fuentes radiactivas ha dado lugar a exposiciones no planificadas a los trabajadores y miembros del público, a veces con resultados mortales. Por lo tanto, las autoridades y los encargados de adoptar decisiones tienen que estar preparados para posibles incidentes o accidentes.

16.2.2. PLANIFICACIÓN DE PRE-EMERGENCIA, CLASIFICACIÓN DE FUENTES

La planificación de pre-emergencia es la fase más importante de las operaciones de rescate. La planificación previa reduce la probabilidad de sorpresas en las situaciones de emergencia reales. Cuanto mayores sean los conocimientos del personal de emergencias sobre la situación a la que se enfrentan, mejor podrán tomar las decisiones adecuadas.

Materiales no nucleares que contienen radionucleidos emisores de radiación penetrante

Los materiales que emiten radiación gamma complican las operaciones de emergencia debido a que requieren una vigilancia continua para evitar la exposición indebida de los trabajadores en la emergencia. Por otra parte, la protección contra la radiación gamma es fácil utilizando tres principios de seguridad: distancia, blindaje y

tiempo de exposición. Estos factores de seguridad deben ser tenidos en cuenta en la planificación de pre-emergencia.

Materiales radiactivos que contienen radionucleidos emisores de radiación no penetrante

Algunos materiales radiactivos emiten radiación alfa y beta. Los principales problemas en caso de accidente con estos materiales son impedir que se incorporen al organismo de los trabajadores en la emergencia y de otras personas expuestas al riesgo, y reducir la dispersión de la contaminación. Los emisores alfa presenta la dificultad adicional de ser más difíciles de medir que las emisiones gamma. Dado que a la hora de paliar las consecuencias de un accidente es importante conocer el grado de confinamiento en que se encuentran los materiales radiactivos, en una situación de emergencia con emisores alfa es preferible asumir que los materiales han escapado de su contención y planificar las medidas de protección correspondientes.

Materiales nucleares

Los materiales nucleares incluyen los fisionables, que pueden causar un accidente de criticidad. Los accidentes de criticidad presentan riesgos tanto de radiación como de contaminación. En este tipo de accidentes es importante determinar la cantidad de material presente y las limitaciones potenciales necesarias, por ejemplo, la extinción de incendios, en particular en el uso del agua.

Los siguientes datos son necesarios para el análisis efectivo de un accidente nuclear de criticidad:

- Isótopos involucrados
- Masa de los materiales
- Estado físico, es decir, sólido, líquido, etc..
- La forma, por ejemplo, esferas, láminas
- Capacidad del material para disolverse en agua.

16.2.3. TIPOS DE RIESGOS

Gammagrafía industrial

General

La radiografía o gammagrafía industrial es el proceso de utilización de las radiaciones para "ver" dentro de los productos manufacturados, como piezas metálicas o tuberías soldadas, para saber si el producto contiene defectos. En radiografía industrial la radiación se produce ya sea por equipos de rayos X o por materiales radiactivos encapsulados.

La radiación penetra en el objeto a estudiar y expone la película sensible a los rayos X colocado detrás del objeto. Agujeros, grietas, impurezas y otros defectos del objeto permiten que una mayor cantidad de radiación alcance la película. La persona que analiza la película puede determinar a partir de las áreas más oscuras si existen

defectos en el objeto. Los defectos que podrían dar lugar a accidentes peligrosos pueden ser detectados en los componentes de los aviones, submarinos, tuberías, puentes y centrales eléctricas.

La radiografía industrial es una herramienta muy potente, pero implica algunos riesgos significativos.

La exposición a la radiación es un riesgo laboral al que el radiógrafo se enfrenta. Hay tres características de la radiografía de rayos gamma que hacen posible la ocurrencia de los accidentes graves:

1. Las fuentes de radiación gamma emiten radiación intensa y penetrante, adecuada para el estudio de muestras de metal grueso. Esto significa que las fuentes pueden causar importantes irradiaciones en muy poco tiempo.
2. Las imágenes con mejor calidad se producen mediante el uso de fuentes con pequeñas dimensiones. La intensidad de radiación en la superficie de dichas pequeñas fuentes de rayos gamma es enorme. Si se toca, la fuente puede causar daños graves, incluso en unos pocos segundos.
3. La radiografía se realiza en difíciles condiciones de trabajo con poca supervisión directa o apoyo. En los grandes proyectos de construcción, el movimiento de las tuberías y vigas por equipos pesados presenta un constante peligro. Además, existe una presión constante para terminar las labores de radiografía lo antes posible. Este apresuramiento puede dar lugar a accidentes.

Equipos usados en radiografía

Un equipo típico utilizado en la gammagrafía es el llamado contenedor de proyección o gammógrafo. La fuente del gammógrafo está montada en el extremo de un cable. El extremo inactivo del cable flexible sobresale parcialmente del contenedor y está asegurado por un anillo de bloqueo que mantiene la fuente en el centro del blindaje. La forma en S del tubo que atraviesa el blindaje no permite que la radiación recorra un camino corto hasta el exterior. Una conexión de tránsito cierra la salida del blindaje para evitar la entrada de suciedad en su interior. Los componentes auxiliares del gammógrafo incluyen el cable de control, la manivela y el tubo guía.

Causas de los accidentes en radiografía

La mayoría de los accidentes ocurren cuando no se siguen los procedimientos adecuados para trabajar en presencia de radiaciones. Los fallos en el seguimiento adecuado de los procedimientos pueden estar originados por querer apresurarse para completar un trabajo, el aburrimiento, la enfermedad, la falta de comunicación, la mala formación, así como varios otros factores.

Los accidentes en gammagrafía suelen ocurrir después de que el operador cometa alguno de los tres errores siguientes:

1. La fuente permanece fuera del blindaje cuando no debería.
2. No se realiza, o no se hace correctamente, el estudio radiológico necesario para asegurar que la fuente se ha retraído a su contenedor blindado.

3. La fuente radiográfica no es bloqueada en su lugar una vez que se ha retraído a su posición blindada de seguridad.

La mayoría de los incidentes de radiografía industrial están relacionados con algún fallo de la fuente al volver a la posición de blindaje. Para hacer frente a estos incidentes se necesitan equipos de medida apropiados y personal especial. Las medidas correctoras a tomar en tales situaciones son las siguientes:

1. Alejarse de la fuente y mantener la calma.
2. Medir la intensidad de radiación.
3. Acotar la zona mediante barreras en base a requisitos de dosis e impidiendo el acceso a las proximidades.
4. No dejar la fuente desatendida (no abandonar la zona).
5. Informar a la organización de lo que está ocurriendo y solicitar asistencia.
6. Planificar el flujo de acciones a realizar, antes de entrar en zona controlada.
7. Aplicar el flujo de acciones planificado.
8. Colocar la fuente utilizando equipos de emergencia, si es posible.
9. Blindar la fuente si no se puede retraer en el dispositivo radiográfico.
10. Pedir asistencia, en caso necesario, de un especialista o del fabricante.

Pérdida o robo de fuentes

Las fuentes desaparecidas o robadas tienen un gran potencial para producir sobreexposiciones y graves lesiones a los miembros del público en general. Si se pierde una fuente, se debe realizar su búsqueda inmediata, usando un medidor de tasa de dosis. Si no se encuentra la fuente en un plazo breve de tiempo, por ejemplo, una hora, se debe notificar al CSN.

Si la fuente se ha perdido en un traslado, se debe volver a recorrer la ruta exacta seguida por el vehículo y llevar a cabo una búsqueda visual y con la ayuda de instrumentos de medida. Los procedimientos incluyen una descripción de las circunstancias en las que es necesaria la comunicación con los medios de comunicación y el público para ayudar a localizar la fuente perdida y para advertir de los posibles efectos sobre la salud.

Fuentes encapsuladas en instrumentación

El riesgo de irradiación asociado con la mayoría de los dispositivos de medición es relativamente bajo, debido al pequeño tamaño de las fuentes y al hecho de que se instalan en un blindaje de manera que se limita el haz de radiación. Por lo tanto, la organización de seguridad podrá estar, normalmente, limitada a:

- Señalización sobre la radiación
- Control radiológico
- Personal autorizado para el manejo de los equipos de medida.

El supervisor de protección radiológica y los operadores puedan tener asignadas otras funciones y no necesitan ser especialistas en radiación o equipos de medida. Deben operar y mantener los instrumentos de medida de acuerdo con los procedimientos de seguridad establecidos por la organización y el fabricante.

Plantas de esterilización (irradiadores gamma)

Los irradiadores gamma son instalaciones en las que determinados materiales son irradiados deliberadamente a dosis elevadas de radiación gamma en condiciones de seguridad. Los efectos inducidos por la radiación dependen de la dosis. Por ejemplo, las diferentes bacterias que infectan alimentos e instrumentos médicos varían en su sensibilidad a la radiación. Algunas son eliminadas con una dosis de 4 kGy mientras que otras sobreviven hasta los 40 kGy. Las dosis son suministradas normalmente utilizando fuentes que producen tasas de dosis muy altas. Se utilizan radionucleidos con alto factor gamma, en particular, Co-60 y, a veces, Cs-137 y normalmente se utilizan actividades de 10.000 – 200.000 TBq. La consola de control del proceso se encuentra fuera de la sala de irradiación. Un gran blindaje rodea a la sala de irradiación para proteger al operador y otras personas que trabajan fuera mientras se realiza la irradiación.

Las salas de irradiación tienen una piscina de agua en la que se introduce por control remoto la fuente de radiación cuando no está en uso. Los irradiadores industriales están equipados con sistemas de seguridad diseñados para prevenir los daños por exposición a la radiación de los operadores y otras personas.

Una evaluación minuciosa de cada instalación y el equipo y los procedimientos a utilizar permitirá que se prevean los problemas o situaciones anómalas. Por ejemplo, los planes podrían definir medidas inmediatas para ocuparse de lo siguiente:

- Un terremoto, huracán u otro fenómeno natural.
- Un incendio o una explosión dentro o fuera de la sala de irradiación.
- Fuentes que fallan al ser expuestas o en el retorno a la posición de almacenamiento de seguridad.
- Daños que afectan al bastidor de la fuente o a la cápsula de la fuente.
- Detección de sustancia radiactiva en el producto o en los filtros de agua o aire.
- Pérdida de agua, degradación de componentes eléctricos, mecánicos o estructurales.

Satélites con alimentación nuclear (re-entradas y lanzamientos fallidos)

Desde el comienzo de la era de los satélites, se han lanzado al espacio miles de vehículos espaciales y satélites. Además de reentradas de vehículos espaciales planificadas y controladas, muchos satélites han vuelto a entrar en la atmósfera y se han desintegrado. Durante la reentrada, un satélite puede quemarse convirtiéndose en polvo o desintegrarse en pedazos que pueden caer a la superficie de la tierra.

Si un satélite equipado con un reactor nuclear o un generador termoeléctrico radiactivo re-entra en la atmósfera de forma incontrolada puede liberar desechos radiactivos y, por tanto, producir un riesgo radiológico en función de la construcción y el tipo de fuente de energía. Hasta 1998 ha habido casos de liberación de materiales radiactivos al medio ambiente, por lo menos en siete satélites y lanzamientos fallidos. Se han notificado emisiones reales de radiactividad vertida al medio ambiente en tres casos.

Características de las fuentes de energía nuclear

a) Generadores Termoelectrónicos de Radioisótopos (RTG)

Los generadores termoelectrónicos de radioisótopos utilizan el calor producido en la desintegración de un elemento radiactivo para generar energía eléctrica a través de un convertidor termoelectrónico. El radioisótopo más utilizado normalmente es el Pu-238. Su vida media de 87,7 años. Por lo tanto, la actividad del nucleido es capaz de producir energía eléctrica durante un tiempo muy largo y puede ser utilizado para misiones en el espacio lejano y aplicaciones de larga duración en órbita terrestre.

Los RTG tienen normalmente 1500-3000 TBq (40-80 kCi), de Pu-238 y puede producir una potencia de 60-120 W. Se tiene conocimiento del uso de hasta tres generadores en una misma nave espacial.

En algunos tipos antiguos de generador estaba previsto que el material radiactivo se vaporizara si el generador sufriera sobrecalentamiento. Un ejemplo de ello es el accidente que sufrió el satélite Transit 5BN-3. EE.UU. lanzó este satélite en 1964, el cual no pudo alcanzar su órbita y se quemó durante la reentrada. Como consecuencia de ello, los materiales radiactivos del generador, que se encontraban en forma de polvo fino se dispersaron en la atmósfera y se depositó en todo el mundo.

El objetivo de la actual política de diseño es el de garantizar que los RTG contengan toda la actividad de Pu-238 dentro de una cápsula que permanezca intacta en todos los casos de mal funcionamiento previsibles durante la fase de lanzamiento, la propia misión espacial y la fase de reingreso en la atmósfera.

b) Reactores nucleares

Esta tecnología se ha utilizado sobre todo en los satélites fabricados en Rusia. Los reactores nucleares usan uranio enriquecido al 90% como combustible. Los reactores contienen unas pocas decenas de kilogramos de U-235. Los primeros reactores generaban alrededor de 500 W de potencia eléctrica, pero los tipos más modernos pueden producir hasta 5-10 kW con una vida de más de 5000 horas.

Si los satélites dotados de estos reactores reentran en la atmósfera, la principal amenaza radiológica está causada por los productos de fisión. Para evitar la dispersión de los productos de fisión en grandes zonas durante la reentrada, se han utilizado diferentes sistemas de seguridad. En el caso de un posible mal funcionamiento del satélite o del reactor, el reactor se separa del satélite y será enviado a una nueva órbita superior. La altura de la nueva órbita es aproximadamente de 800 km y el reactor permanecerá en ella más de 300 años. Este periodo es lo suficientemente largo como para permitir un casi completo decaimiento de los productos de fisión del reactor antes de que finalmente vuelva a entrar y se queme en la atmósfera. El uranio enriquecido, U-235, como tal, no provoca ningún peligro significativo de radiación.

Si el impulso falla, el reactor será separado de las demás partes del satélite para permitir un calentamiento más eficiente del reactor y la dispersión del combustible en las capas superiores de la atmósfera durante la reentrada. El propósito es evitar casos

de alta contaminación local. Sin embargo, en el caso de la reentrada del satélite ruso COSMOS 954 en 1978, el sistema no fue capaz de evitar el depósito de productos de fisión en la superficie de la tierra y la contaminación de una zona de varios cientos de kilómetros a lo largo de la ruta del satélite en la zona de la tundra de Canadá. La contaminación fue causada principalmente por fragmentos metálicos y partículas de combustible. Parte del núcleo del reactor y del combustible se incendiaron en la atmósfera.

Preparación para la reentrada de un satélite con alimentación nuclear

A los efectos de los planes de emergencia existen tres fases temporales que deben ser consideradas:

La fase de **notificación**, que tiene lugar antes de que el satélite reentre en la atmósfera. Durante esta fase deberían revisarse los planes de preparación para casos de emergencia. Toda la información posible acerca de la órbita, el momento y lugar previstos de la reentrada y el tipo de fuente de energía nuclear del satélite y su contenido en actividad debe ser proporcionada por el Estado o la organización que lanzó el satélite. Los otros estados y organizaciones capaces de ayudar aportando esta información deben facilitarla. Asimismo, el público debe ser informado.

La fase de **búsqueda** se inicia con la identificación de la ubicación probable de la zona en que se pueden dispersar los restos del satélite alimentado con energía nuclear (NPS). Esta fase acabará cuando el impacto real haya sido determinado. La situación del lugar real del impacto se puede determinar mediante medidas directas. La forma más eficaz de localizar los restos es la realización de medidas aéreas pero también se pueden utilizar vehículos u otros medios terrestres equipados con equipos de medida. Se deben analizar la intensidad de radiación emitida y el contenido radiactivo de los restos hallados. Si hay riesgo de contaminación interna o irradiación externa, se debe informar a la población y, en consecuencia, se deben tomar las necesarias contramedidas.

La fase de **recuperación** comienza cuando se ha identificado la zona de impacto de los restos del satélite. Esta fase terminará cuando se considere improbable que dichos restos supongan un riesgo radiológico para la población y el medio ambiente. Se deben identificar las zonas que presenten una deposición generalizada de fragmentos y partículas altamente radioactivos. Se analizará la composición de radionucleidos de los restos, tomando muestras para la medida de su actividad. La descontaminación de las zonas identificadas se debe realizar teniendo en cuenta las dosis de radiación estimadas, la densidad de población otras circunstancias locales.

Vías de exposición

a) Irradiación externa

El polvo, partículas y fragmentos radiactivos originados a partir de los reactores nucleares pueden originar la irradiación externa de las personas que permanezcan en

las cercanías de los materiales depositados. Las dosis externas son originadas por la radiación gamma y beta y pueden variar notablemente dependiendo de la actividad de las fuentes, la distancia y el tiempo de permanencia en las cercanías de la fuente. Al ser el Pu-238 un emisor alfa (aunque también emite radiación gamma de baja energía como los otros isótopos de plutonio de los RTG) la dosis externa causada por éstos es pequeña comparada con los nucleidos emisores gamma de los reactores nucleares. La dosis externa producida por la nube radiactiva formada por el polvo suspendido en la atmósfera probablemente sea muy baja en comparación con la dosis producida por la actividad depositada. Si se tocan directamente los fragmentos radiactivos, se pueden recibir dosis locales muy altas.

b) Irradiación interna

La irradiación interna depende de la actividad de material radioactivo incorporado al organismo, la radiación emitida por dicho material y la distribución del mismo en los distintos órganos y el tiempo de permanencia en ellos. En la primera fase, las dosis internas se pueden producir por inhalación de aire que contenga polvo radiactivo. La magnitud de la dosis de radiación depende del tamaño de partícula y de la solubilidad del material radiactivo. Únicamente las partículas muy pequeñas pueden alcanzar las partes más internas de los pulmones. Las partículas mayores son eliminadas del tracto respiratorio por la acción ciliar hacia la laringe, tras lo cual son tragadas. En el tracto intestinal, dichas partículas se comportan como cualquier material ingerido. Además, el material radiactivo resuspendido puede contribuir a la dosis por inhalación durante un largo período de tiempo. El plutonio es uno de los elementos más radiotóxicos y la inhalación es la vía de incorporación más significativa.

El consumo de alimentos y agua de bebida que contenga material radiactivo ocasiona la contaminación interna y, por tanto, la dosis por irradiación interna. El material radiactivo dispersado en el aire puede depositarse directamente en los cultivos de alimentos (principalmente en los cultivos de hoja ancha) y en el agua potable. Hay varias cadenas alimentarias que pueden transferir los radionucleidos desde el suelo a las plantas y, a continuación, a la leche y la carne, y, finalmente, constituyen una vía de contaminación interna de las personas. La transferencia de los radionucleidos depositados por absorción desde la raíz de las plantas que origina la contaminación de los alimentos ingeridos normalmente es significativa en el caso de accidentes con satélites. Sin embargo, la incorporación de cesio, estroncio o yodo puede ser debida a la contaminación de la leche.

16.2.4 PLAN EMERGENCIA PARA INCIDENTES RADIOLÓGICOS

Cada organización que haga uso de las radiaciones debe disponer de un plan de emergencia que describa los procedimientos a seguir en caso de incidentes radiológicos. El plan de emergencia debe incluir lo siguiente:

- Acciones inmediatas a adoptar para prevenir dosis de radiación excesivas.
- Procedimientos de notificación interna y externa.
- Procedimientos de actuación ante el incidente para devolver la situación a la normalidad.
- Evaluación de incidentes, buscando las causas y estimado las consecuencias.
- Exámenes médicos.

- Preparación de informes detallados de los incidentes para la autoridad reguladora.

16.2.5. BIBLIOGRAFÍA

1. Project PH REG 06.4/97: Training on Off-Site Emergency Management in Central Eastern Europe Course Training Material.
2. Manual de la OIEA: Manual de Gammagrafía. 1996.
3. Manual de la OIEA: Manual de Irradiadores Panorámicos Gamma. 1993.
4. Guía de Seguridad del CSN GSG-05.10 Documentación técnica para solicitar la autorización de funcionamiento de las instalaciones de rayos X con fines industriales.
5. Guía de Seguridad del CSN GSG-05.14 Seguridad y protección radiológica de las instalaciones radiactivas de gammagrafía industrial.