

COLECCIÓN DE NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

Diseño de los sistemas
de manipulación
y almacenamiento
del combustible de las
centrales nucleares

GUÍA DE SEGURIDAD

Nº NS-G-1.4



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

**DISEÑO DE LOS SISTEMAS
DE MANIPULACIÓN
Y ALMACENAMIENTO
DEL COMBUSTIBLE DE LAS
CENTRALES NUCLEARES**

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	PAÍSES BAJOS
ARGELIA	GHANA	PAKISTÁN
ARGENTINA	GRECIA	PALAU
ARMENIA	GUATEMALA	PANAMÁ
AUSTRALIA	HAITÍ	PARAGUAY
AUSTRIA	HONDURAS	PERÚ
AZERBAIYÁN	HUNGRÍA	POLONIA
BANGLADESH	INDIA	PORTUGAL
BELARÚS	INDONESIA	QATAR
BÉLGICA	IRÁN, REPÚBLICA ISLÁMICA DEL	REINO UNIDO DE GRAN BRETAÑA E IRLANDA DEL NORTE
BELICE	IRAQ	REPÚBLICA ÁRABE SIRIA
BENIN	IRLANDA	REPÚBLICA
BOLIVIA	ISLANDIA	CENTROAFRICANA
BOSNIA Y HERZEGOVINA	ISLAS MARSHALL	REPÚBLICA CHECA
BOTSWANA	ISRAEL	REPÚBLICA DE MOLDOVA
BRASIL	ITALIA	REPÚBLICA DEMOCRÁTICA DEL CONGO
BULGARIA	JAMAHIRIYA ÁRABE LIBIA	REPÚBLICA DOMINICANA
BURKINA FASO	JAMAICA	REPÚBLICA UNIDA DE TANZANÍA
CAMERÚN	JAPÓN	RUMANIA
CANADÁ	JORDANIA	SANTA SEDE
CHAD	KAZAJSTÁN	SENEGAL
CHILE	KENYA	SERBIA
CHINA	KIRGUISTÁN	SEYCHELLES
CHIPRE	KUWAIT	SIERRA LEONA
COLOMBIA	LETONIA	SINGAPUR
COREA, REPÚBLICA DE	LÍBANO	SRI LANKA
COSTA RICA	LIBERIA	SUDÁFRICA
CÔTE D'IVOIRE	LIECHTENSTEIN	SUDÁN
CROACIA	LITUANIA	SUECIA
CUBA	LUXEMBURGO	SUIZA
DINAMARCA	MADAGASCAR	TAILANDIA
ECUADOR	MALASIA	TAYIKISTÁN
EGIPTO	MALAWI	TÚNEZ
EL SALVADOR	MALÍ	TURQUÍA
EMIRATOS ÁRABES UNIDOS	MALTA	UCRANIA
ERITREA	MARRUECOS	UGANDA
ESLOVAQUIA	MAURICIO	URUGUAY
ESLOVENIA	MAURITANIA, REPÚBLICA ISLÁMICA DE	UZBEKISTÁN
ESPAÑA	MÉXICO	VENEZUELA, REPÚBLICA BOLIVARIANA DE
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	MÓNACO	VIET NAM
ESTONIA	MONGOLIA	YEMEN
ETIOPÍA	MONTENEGRO	ZAMBIA
EX REPÚBLICA YUGOSLAVA DE MACEDONIA	MOZAMBIQUE	ZIMBABWE
FEDERACIÓN DE RUSIA	MYANMAR	
	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
NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA N° NS-G-1.4

DISEÑO DE LOS SISTEMAS
DE MANIPULACIÓN
Y ALMACENAMIENTO
DEL COMBUSTIBLE DE LAS
CENTRALES NUCLEARES

GUÍA DE SEGURIDAD

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA
VIENA, 2008

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, 2008

Impreso por el OIEA en Austria
Noviembre de 2008

**DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE MANIPULACIÓN
Y ALMACENAMIENTO DEL COMBUSTIBLE
DE LAS CENTRALES NUCLEARES**

OIEA, VIENA, 2008

STI/PUB/1156

ISBN 978-92-0-309108-4

ISSN 1020-5837

PRÓLOGO

por
Mohamed ElBaradei
Director General

Una de las funciones estatutarias del OIEA es establecer o adoptar normas de seguridad para proteger, en el desarrollo y la aplicación de la energía nuclear con fines pacíficos, la salud, la vida y los bienes, y proveer lo necesario para la aplicación de esas normas a sus propias operaciones, así como a las realizadas con su asistencia y, a petición de las Partes, a las operaciones que se efectúen en virtud de cualquier arreglo bilateral o multilateral, o bien, a petición de un Estado, a cualquiera de las actividades de ese Estado en el campo de la energía nuclear.

Los siguientes órganos supervisan la elaboración de las normas de seguridad: la Comisión sobre normas de seguridad (CSS); el Comité sobre normas de seguridad nuclear (NUSSC); el Comité sobre normas de seguridad radiológica (RASSC); el Comité sobre normas de seguridad en el transporte (TRANSSC); y el Comité sobre normas de seguridad de los desechos (WASSC). Los Estados Miembros están ampliamente representados en estos comités.

Con el fin de asegurar el más amplio consenso internacional posible, las normas de seguridad se presentan además a todos los Estados Miembros para que formulen observaciones al respecto antes de aprobarlas la Junta de Gobernadores del OIEA (en el caso de las Nociones fundamentales de seguridad y los Requisitos de seguridad) o el Comité de Publicaciones, en nombre del Director General, (en el caso de las Guías de seguridad).

Aunque las normas de seguridad del OIEA no son jurídicamente vinculantes para los Estados Miembros, éstos pueden adoptarlas, a su discreción, para utilizarlas en sus reglamentos nacionales respecto de sus propias actividades. Las normas son de obligado cumplimiento para el OIEA en relación con sus propias operaciones, así como para los Estados en relación con las operaciones para las que éste preste asistencia. A todo Estado que desee concertar con el OIEA un acuerdo para recibir su asistencia en lo concerniente al emplazamiento, diseño, construcción, puesta en servicio, explotación o clausura de una instalación nuclear, o a cualquier otra actividad, se le pedirá que cumpla las partes de las normas de seguridad correspondientes a las actividades objeto del acuerdo. Ahora bien, conviene recordar que, en cualquier trámite de concesión de licencia, la decisión definitiva y la responsabilidad jurídica incumbe a los Estados.

Si bien las mencionadas normas establecen las bases esenciales para la seguridad, puede ser también necesario incorporar requisitos más detallados, acordes con la práctica nacional. Además, existirán por lo general aspectos

especiales que será necesario aquilatar en función de las circunstancias particulares de cada caso.

Se menciona cuando procede, pero sin tratarla en detalle, la protección física de los materiales fisionables y radiactivos y de las centrales nucleares en general; las obligaciones de los Estados a este respecto deben enfocarse partiendo de la base de los instrumentos y publicaciones aplicables elaborados bajo los auspicios del OIEA. Tampoco se consideran explícitamente los aspectos no radiológicos de la seguridad industrial y la protección del medio ambiente; se reconoce que, en relación con ellos, los Estados deben cumplir sus compromisos y obligaciones internacionales.

Es posible que algunas instalaciones construidas conforme a directrices anteriores no satisfagan plenamente los requisitos y recomendaciones prescritos por las normas de seguridad del OIEA. Corresponderá a cada Estado decidir la forma de aplicar tales normas a esas instalaciones.

Se señala a la atención de los Estados el hecho de que las normas de seguridad del OIEA, si bien no jurídicamente vinculantes, se establecen con miras a conseguir que las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear y los materiales radiactivos se realicen de manera que los Estados puedan cumplir sus obligaciones derivadas de los principios generalmente aceptados del derecho internacional y de reglas como las relativas a la protección del medio ambiente. Con arreglo a uno de esos principios generales, el territorio de un Estado ha de utilizarse de forma que no se causen daños en otro Estado. Los Estados tienen así una obligación de diligencia y un criterio de precaución.

Las actividades nucleares civiles desarrolladas bajo la jurisdicción de los Estados están sujetas, como cualesquier otras actividades, a las obligaciones que los Estados suscriben en virtud de convenciones internacionales, además de a los principios del derecho internacional generalmente aceptados. Se cuenta con que los Estados adopten en sus ordenamientos jurídicos nacionales la legislación (incluidas las reglamentaciones) así como otras normas y medidas que sean necesarias para cumplir efectivamente todas sus obligaciones internacionales.

NOTA DE EDITORIAL

En caso de que el documento contenga apéndices éstos formarán parte integrante del documento y tendrán la misma importancia que el texto principal. En caso de que contenga anexos, notas de pie de página y bibliografías su finalidad es proporcionar información adicional o dar ejemplos prácticos que podrían ser de utilidad para el usuario.

En las normas de seguridad se emplea la forma verbal “deberá” (en inglés “shall”) cuando se enuncian requisitos, deberes y obligaciones. La forma “debería” o “debe” (en inglés “should”) se usa para indicar recomendaciones de una opción deseada.

La versión en inglés del texto es la versión autorizada.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
	Antecedentes (1.1-1.2).....	1
	Objetivo (1.3-1.4).....	1
	Alcance (1.5-1.8)	1
	Estructura (1.9).....	3
2.	SISTEMAS DE MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO DEL COMBUSTIBLE Y SUS FUNCIONES	3
	Generalidades (2.1-2.3).....	3
	Combustible nuevo (2.4-2.5)	4
	Combustible irradiado (2.6-2.7).....	5
3.	BASES GENERALES DE DISEÑO.....	6
	Consideraciones generales (3.1-3.3)	6
	Estados operacionales (3.4-3.5)	7
	Sucesos iniciadores postulados (3.6-3.20).....	7
	Accidentes base de diseño (3.21)	11
	Otras consideraciones (3.22-3.39)	11
4.	SISTEMAS DE MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO DEL COMBUSTIBLE NUEVO.....	15
	Generalidades (4.1-4.3).....	15
	Diseño del sistema (4.4-4.23)	15
	Equipo (4.24-4.43)	19
	Sistemas auxiliares (4.44-4.47)	24
	Operaciones de manipulación (4.48-4.50)	25
5.	SISTEMAS DE MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE IRRADIADO Y OTROS COMPONENTES DEL NÚCLEO.....	25
	Generalidades (5.1-5.8).....	25
	Diseño de los sistemas (5.9-5.45).....	27
	Equipo (5.46-5.57)	36
	Sistemas auxiliares (5.58-5.66)	39

Operaciones (5.67–5.73)	41
Medidas para el desmontaje y reconstitución del combustible irradiado (5.74–5.77)	42
Disposiciones relativas al combustible dañado (5.78–5.79)	43
Manipulación y almacenamiento de otros componentes irradiados (5.80–5.87).....	43
6. MANIPULACIÓN DE LOS CONTENEDORES DE COMBUSTIBLE	45
Requisitos de diseño para la manipulación de los contenedores de combustible (6.1–6.6)	45
Equipos de manipulación de los contenedores de combustible (6.7–6.10).....	46
Operaciones de manipulación (6.11–6.12)	47
7. MANIPULACIÓN DEL COMBUSTIBLE EN EMPLAZAMIENTOS CON VARIOS REACTORES (7.1–7.4)....	48
8. GARANTÍA DE CALIDAD Y DOCUMENTACIÓN.....	49
Garantía de calidad (8.1–8.2)	49
Identificación, ubicación y movimiento de conjuntos combustibles y otros componentes del núcleo (8.3–8.4)	49
REFERENCIAS	51
ANEXO: DIAGRAMAS DE PROCESO EN SISTEMAS TÍPICOS DE MANIPULACIÓN Y ALMACENTAMIENTO DEL COMBUSTIBLE IRRADIADO	53
COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y EXAMEN	57
ÓRGANOS ENCARGADOS DE APROBAR LAS NORMAS DE SEGURIDAD	59

1. INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

1.1. La presente guía ha sido elaborada en el marco del programa del OIEA de normas de seguridad para las centrales nucleares. Es una versión revisada de la guía de seguridad “Sistemas de manipulación y almacenamiento del combustible en centrales nucleares” (Colección de Seguridad N° 50-SG-D10) editada en 1984. Formula recomendaciones sobre cómo cumplir los requisitos relativos a la seguridad de las centrales nucleares establecidos en la publicación sobre Requisitos de Seguridad del OIEA titulada Seguridad de las centrales nucleares: Diseño [1].

1.2. Esta guía de seguridad está relacionada con tres publicaciones anteriores sobre almacenamiento de combustible gastado: Design of Spent Fuel Storage Facilities [2], Operation of Spent Fuel Storage Facilities [3] and Safety Assessment for Spent Fuel Storage Facilities [4]. Muchas de las orientaciones que contienen son también aplicables a las instalaciones consideradas en la presente guía.

OBJETIVO

1.3. El propósito de esta guía de seguridad es ofrecer recomendaciones sobre el diseño de los sistemas de manipulación y almacenamiento del combustible de las centrales nucleares. Presenta recomendaciones sobre cómo cumplir los requisitos establecidos en la publicación del OIEA sobre Requisitos de Seguridad “Seguridad de las centrales nucleares: Diseño [1].”

1.4. Esta publicación está concebida para su utilización por empresas que diseñen, fabriquen, instalen y operen con sistemas de manipulación y almacenamiento del combustible de las centrales nucleares, así como por los órganos reguladores.

ALCANCE

1.5. El campo de aplicación de esta guía de seguridad es, principalmente, el diseño de los sistemas de manipulación y almacenamiento de conjuntos combustibles destinados a los reactores nucleares térmicos situados en tierra.

Abarca todas las etapas de la manipulación y almacenamiento de combustible, lo cual incluye:

- la recepción segura del combustible en la central nuclear;
- el almacenamiento e inspección del combustible antes de su utilización;
- la carga del combustible nuevo en el reactor;
- la retirada del combustible irradiado del reactor;
- la reinsertión del combustible irradiado, cuando proceda;
- el almacenamiento, inspección y reparación del combustible irradiado y su preparación para retirarlo de la piscina del reactor;
- la manipulación de los contenedores de transporte.

Se considera de forma limitada la manipulación y almacenamiento de ciertos componentes del núcleo, tales como los dispositivos de control de la reactividad. Las recomendaciones de esta guía de seguridad se aplican también a otros tipos de reactor, según proceda, tales como los reactores refrigerados por gas y los diseñados para su recarga en servicio.

1.6. El combustible nuevo (incluido el de mezcla de óxidos) puede emitir niveles de radiación significativos si contiene material fisionable recuperado por reprocesamiento. Aunque tal combustible puede manipularse sin refrigeración, en esta guía de seguridad se incluyen recomendaciones aplicables al mismo, tales como las relativas al blindaje correspondiente.

1.7. Entre los aspectos no comprendidos en el ámbito de esta guía figuran:

- las consideraciones de física de reactores relativas a la carga y descarga del combustible y absorbentes del núcleo;
- los aspectos de diseño concernientes a la preparación del reactor para la carga del combustible (como la apertura de la tapa de la vasija y retirada de los componentes internos en los reactores de agua ligera) así como su reposición después de la carga;
- el diseño de los contenedores de transporte;
- el almacenamiento a largo plazo del combustible, más allá de la vida de diseño de la central nuclear;
- la protección física del combustible, o los aspectos relacionados con las salvaguardias aplicadas al material nuclear;
- la carga en contenedores de transporte del combustible dañado, en contacto con el refrigerante.

1.8. La referencia [2] formula recomendaciones acerca del diseño de instalaciones de almacenamiento de combustible gastado que no sean parte integrante de una central nuclear en funcionamiento, aunque dichas instalaciones puedan estar situadas en el mismo emplazamiento. Tales instalaciones sirven para el almacenamiento seguro del combustible nuclear gastado, después de ser extraído de la piscina del reactor y antes de ser reprocesado o evacuado como desecho radiactivo.

ESTRUCTURA

1.9. Los sistemas de manipulación y almacenamiento del combustible y sus funciones se describen en la sección 2. La sección 3 trata de las bases generales de diseño de las instalaciones. Las secciones 4 y 5 formulan recomendaciones acerca de la manipulación y almacenamiento del combustible nuevo y del irradiado, respectivamente. La sección 6 se refiere a la manipulación de los contenedores de transporte. La sección 7 presenta recomendaciones para los emplazamientos con más de un reactor. La sección 8 trata de la garantía de calidad y la documentación.

2. SISTEMAS DE MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO DEL COMBUSTIBLE Y SUS FUNCIONES

GENERALIDADES

2.1. El combustible nuclear contiene material fisionable y, después de ser irradiado, productos de fisión y activación altamente radiactivos. Las características de diseño más significativas de los sistemas de manipulación y almacenamiento del combustible de las centrales nucleares son las que proporcionan la confianza necesaria en que el combustible y los componentes del núcleo pueden ser recibidos, manipulados, almacenados y recuperados sin riesgo indebido para la salud, la seguridad o el medio ambiente. Todas las características de diseño de los sistemas de manipulación y almacenamiento del combustible se encaminan por tanto hacia los siguientes objetivos: la subcriticidad del combustible; asegurar la integridad del combustible; refrigerar el combustible irradiado; asegurar la protección radiológica

conforme a las Normas básicas de seguridad [5]; y evitar emisiones inaceptables de material radiactivo al medio ambiente.

2.2. Los diferentes diseños de reactor y las diferentes formas de disposición de las centrales obedecen a concepciones esencialmente distintas de los sistemas de manipulación y almacenamiento del combustible. Una diferencia fundamental es que algunos tipos de reactor se recargan en régimen de potencia y otros se recargan estando en situación de parada fría. El almacenamiento del combustible nuevo puede hacerse en un entorno seco (“almacenamiento en seco”), o en recintos llenos de agua (“almacenamiento en húmedo”). El combustible irradiado descargado del reactor se almacena inicialmente en húmedo. Las características de las instalaciones de manipulación y almacenamiento del combustible dependen en cierta medida del tipo concreto de reactor. Los cuatro diagramas de proceso del anexo (figs. A-1/A-4) muestran sistemas típicos de tratamiento y almacenamiento de conjuntos combustibles para diferentes tipos de reactor, desde la recepción hasta su expedición final.

2.3. Los requisitos de diseño de los sistemas de manipulación y almacenamiento del combustible se establecen en los párrafos 6.96-6.98 de la ref. [1]. Además, los requisitos generales de diseño formulados en otras publicaciones, en particular los referidos a garantía de calidad, funcionamiento y evaluación del emplazamiento [6-8], se aplican también a la manipulación de combustible en tanto tengan relación con la idoneidad de los procedimientos de validación del diseño, la capacitación y experiencia de los operadores, y los sucesos externos que deberían considerarse en el diseño.

COMBUSTIBLE NUEVO

2.4. En la mayoría de los tipos de reactor, el combustible nuevo se recibe y almacena primeramente en una zona de almacenamiento en seco prevista al efecto, en donde pueda ser preparado e inspeccionado. Además, en muchos tipos, particularmente en los reactores de agua ligera, el combustible nuevo se traslada seguidamente a un almacén en húmedo antes de ser cargado en el núcleo. Tanto con respecto a este traslado como al almacenamiento intermedio en húmedo deberían seguirse todas las recomendaciones aplicables al combustible nuevo, además de los requisitos concernientes al combustible irradiado. Las diferencias principales que es preciso considerar se refieren a la mayor reactividad del combustible nuevo y su nivel de radiación, significativamente más bajo. Sin embargo, puede requerirse protección

radiológica para los operadores, si se ha fabricado el combustible a partir de uranio reprocesado o de material fisionable recuperado, como es el caso del combustible de óxidos mixtos.

2.5. Un daño físico a los conjuntos o elementos combustibles no irradiados puede dar lugar al escape directo de material combustible. Sin embargo, es de mayor importancia para la seguridad la posible inserción de combustible dañado en el reactor, donde podría ocasionar un grave riesgo al poner en peligro la seguridad de funcionamiento. Debería garantizarse, mediante la manipulación y almacenamiento adecuados del combustible nuevo, la preservación de su integridad en todo momento, y debería disponerse de medios de supervisión del combustible antes de utilizarlo, con objeto de minimizar el riesgo de insertar en el reactor combustible dañado.

COMBUSTIBLE IRRADIADO

2.6. La instalación de almacenamiento del combustible gastado sirve para mantenerlo en condiciones de seguridad y de protección física desde que dicho combustible se retira del reactor hasta que es trasladado para cargarlo en un contenedor y transportarlo fuera del emplazamiento con miras a su disposición final como desecho radiactivo o a su reprocesamiento. La instalación incluirá, por tanto, sistemas de manipulación, almacenamiento, traslado y recuperación del combustible gastado. Las funciones primarias de seguridad de estos sistemas deberían ser garantía de que el combustible se mantiene en todo momento en condiciones de subcriticidad, que se preserva la integridad de sus vainas, que es adecuadamente refrigerado para disipar calor residual, así como de que el material radiactivo está confinado y no existe riesgo indebido para la salud o la seguridad, ni peligro para el medio ambiente.

2.7. El combustible irradiado debería transportarse en contenedores adecuadamente blindados y refrigerados, con su interior seco o llenos parcialmente de refrigerante. Los contenedores deberían tener una estructura interna que mantenga el combustible durante el transporte en una disposición geométrica bien definida. Los contenedores deberían ser cargados bajo agua en una zona específica de la piscina de almacenamiento, o en una piscina separada para la carga de contenedores, o bien ser cargados en seco. El combustible puede colocarse primeramente en una cesta o bastidor que, posteriormente, puede introducirse en el contenedor. Los sistemas de manipulación de los contenedores deberían ser tales que den la seguridad de que los contenedores pueden ser recibidos, cargados y preparados para el

transporte, tanto en el emplazamiento como fuera de él, de manera que satisfagan los requisitos aplicables.

3. BASES GENERALES DE DISEÑO

CONSIDERACIONES GENERALES

3.1. Los sistemas de manipulación y almacenamiento del combustible deberían diseñarse de forma que aseguren la integridad y las propiedades del combustible durante esa manipulación y almacenamiento. Las siguientes funciones fundamentales de seguridad deberían cumplirse en todo momento para evitar los efectos de la radiación sobre el personal de la central y el público en general:

- mantenimiento de la subcriticidad del combustible;
- eliminación del calor residual del combustible irradiado;
- confinamiento de las sustancias radiactivas.

La protección radiológica debería garantizarse siguiendo las Normas básicas de seguridad [5], y aplicando el principio ALARA (valor tan bajo como sea razonablemente posible).

3.2. En el proceso de diseño se deberían adoptar prácticas de ingeniería bien probadas, juntamente con datos de entrada seleccionados adecuadamente, así como situaciones hipotéticas, también adecuadas para los estados de funcionamiento normal y las desviaciones plausibles. Debería considerarse en el proceso de diseño la utilización de la experiencia adquirida en instalaciones similares, y reducirse al mínimo los errores humanos como elementos componentes de sucesos y accidentes. Al seguir estas recomendaciones, debería aplicarse el principio de defensa en profundidad [1].

3.3. Para predecir las consecuencias de las situaciones propias de estados operacionales o de accidentes base de diseño sobre el almacenamiento del combustible, en el proceso de diseño solamente deberían emplearse métodos verificados. Igualmente, los datos de entrada deberían ser moderados, aunque realistas, y referirse tanto a los estados operacionales como a los accidentes base de diseño. Cuando existan incertidumbres en los datos de entrada, serán

inevitables análisis y predicciones, por lo que debería preverse margen para los mismos, y llevarse a cabo un estudio de sensibilidad.

ESTADOS OPERACIONALES

3.4. Los sistemas de manipulación y almacenamiento del combustible deberían diseñarse para un funcionamiento seguro en todos los estados operacionales. Deberían definirse los parámetros relevantes de diseño para el funcionamiento normal. En el caso de sistemas de recarga en servicio se debería definir y garantizar el cumplimiento de las condiciones de funcionamiento del reactor (por ejemplo, nivel de potencia y caudal del refrigerante) en las cuales se permita la recarga.

3.5. El diseño debería prever, y efectuarse de modo que asegure la disponibilidad de los servicios esenciales antes de iniciar cualquier operación de recarga (por ejemplo, las operaciones de recarga no deberían iniciarse si existen fallos inaceptables en los sistemas esenciales de alimentación eléctrica a las grúas, a los sistemas de refrigeración o de purificación, o si no están aptos para el servicio los sistemas de vigilancia del confinamiento y de la ventilación).

SUCESOS INICIADORES POSTULADOS

3.6. Deberían analizarse los efectos de los sucesos iniciadores postulados que pudieran afectar al diseño de los sistemas de manipulación y almacenamiento de combustible y a los edificios relacionados con ellos. Los sucesos iniciadores postulados deberían seleccionarse sobre la base de métodos deterministas y probabilistas, y la lista debería incluir los sucesos descritos en los siguientes párrafos. Los sucesos pueden dividirse en dos clases: sucesos originados dentro de la central, y sucesos que se originan generalmente por causas externas a la central [4, 7].

Sucesos de origen interno

Caída de cargas

3.7. La caída de objetos sobre componentes relacionados con la seguridad, tales como conjuntos combustibles almacenados, o dentro de la piscina de combustible, es un peligro potencial. Los objetivos de diseño deberían excluir la posibilidad de desplazar objetos pesados por encima del combustible

almacenado y proteger a éste o a otros componentes relacionados con la seguridad (como conjuntos combustibles, bastidores de almacenamiento, la piscina y su revestimiento, y el edificio de combustible) de cualquier caída de cargas. La fiabilidad de los equipos de elevación debería ser tal que quede descartada por completo la caída de la carga; por ejemplo, mediante el empleo de grúas a prueba de fallo único. A fin de determinar las consecuencias potenciales de la caída de objetos, estos deberían considerarse en categorías tales como: contenedores o tapas, contenedores de traslado y cestas o cápsulas selladas multiuso, combustible y bastidores de almacenamiento del combustible, y herramientas manuales o accionadas por motor. La posibilidad de un accidente de manipulación del combustible debería ser evaluada por el autor del diseño, de conformidad con las recomendaciones del párrafo 3.27.

Fallo de equipos

3.8. El diseño debería ser tal que asegure que las consecuencias de los fallos verosímiles de equipos o sistemas, tanto en el interior como el exterior de la instalación de almacenamiento, no excedan los límites tolerables. Ejemplos de tales sucesos son: el funcionamiento defectuoso de sistemas de refrigeración, que pueda dar lugar a un incremento de la temperatura o a la ebullición del agua de la piscina, la dilución del material absorbente de neutrones en el agua, el atasco de un conjunto combustible en una posición incorrecta, el desplazamiento lateral de un módulo de bastidor; la carga del cable de la máquina de recarga de combustible con un peso superior al valor de diseño, los daños al combustible debidos a un movimiento incorrecto del mecanismo accionador; y la incapacidad para concluir de forma segura la operación requerida.

Inundación interna

3.9. Cuando la moderación se use con fines de control y el combustible se maneje y almacene en seco, debería existir protección contra inundación interna con objeto de evitar criticidades imprevistas. También debería existir protección contra inundación interna para evitar la incapacidad de funcionar o el funcionamiento defectuoso de equipos relacionados con la seguridad, tales como sistemas de supervisión y sistemas de refrigeración del combustible gastado.

Accidente de pérdida de refrigerante del reactor o despresurización

3.10. Deberían definirse los efectos de los sucesos postulados originados en el reactor sobre todas las zonas de almacenamiento, con objeto de evaluar si es oportuna alguna medida adicional de protección y para tener en cuenta posibles cambios en la moderación y efectos en los equipos. En el caso de recarga con el reactor en servicio, deberían definirse las consecuencias del accidente de pérdida de refrigerante o despresurización sobre las máquinas de recarga y las operaciones de manipulación del combustible.

Proyectiles de origen interno

3.11. Deberían tenerse en cuenta los proyectiles causados por el fallo de máquinas rotatorias, roturas de componentes bajo presión, u otros sucesos plausibles, y disponerse la protección necesaria para conseguir la certeza de que no habrá consecuencias inaceptables para la seguridad. Debería prestarse especial atención al almacenamiento de gases y de combustibles corrientes, así como a las disposiciones correspondientes para su suministro a fin de prevenir posibles explosiones.

Incendios y explosiones

3.12. Deberían determinarse las consecuencias posibles de daños causados por el fuego al combustible almacenado en seco, a la capacidad de refrigeración del combustible de la piscina o a al suministro eléctrico esencial a equipos. Debería tenerse en cuenta el efecto de los agentes de extinción de incendios sobre la subcriticidad del combustible almacenado.

3.13. Deberían considerarse los efectos posibles de las ondas aéreas de choque causadas por una explosión postulada en la central o próxima a ésta.

Error de operadores

3.14. Un objetivo del diseño debería ser la reducción de la posibilidad de errores humanos. Debería realizarse un análisis de errores posibles de los operadores; considerarse, en el diseño, las consecuencias de tales errores y, donde sea viable, disponerse enclavamientos y otros mecanismos para evitar que ocurran.

Sucesos de origen externo

Pérdida del suministro externo de energía eléctrica

3.15. Debería preverse el suministro eléctrico esencial para, en caso de una pérdida del suministro eléctrico exterior, realizar sin peligro las funciones de seguridad requeridas (como refrigeración, monitorización y ventilación).

Sucesos sísmicos

3.16. Se debería llevar a cabo un análisis sísmico para evaluar las siguientes consecuencias posibles de sucesos sísmicos, y para determinar adecuadamente la clasificación sísmica de estructuras, sistemas y componentes importantes para la seguridad:

- caída de cargas;
- fallo de la pared de la piscina, rotura de tuberías que den lugar a fugas de la piscina de almacenamiento, y fallo del sistema de refrigeración;
- deslizamiento, vuelco o impacto de los bastidores de combustible contra otros objetos;
- deformación de los bastidores de combustible;
- desplazamiento de los absorbentes neutrónicos sólidos;
- pérdida de integridad de las conexiones de la máquina de carga con los circuitos de fluidos a presión del reactor durante la recarga en servicio;
- fallo del soporte de la máquina de recarga, fallo de la propia máquina de recarga o fallo de los sistemas de transporte durante el movimiento del combustible;
- posibilidad de que se produzca un fallo no vinculado al sistema de recarga que cause averías en el equipo de manipulación del combustible;
- posibilidad de que se produzcan averías en equipos sin protección sísmica, que provoquen fallos subsiguientes en componentes o equipos que serían necesarios en sucesos sísmicos.

Vientos fuertes y tornados

3.17. Cuando sea de interés, deberían evaluarse los efectos que puedan tener sobre los edificios de manipulación y almacenamiento de combustible sobrecargas o proyectiles generados por huracanes o tornados.

Inundaciones

3.18. Deberían evaluarse los posibles efectos de inundaciones sobre el almacenamiento seguro del combustible nuevo e irradiado en centrales situadas a la orilla de ríos o en la costa, si se consideran relevantes.

Otros sucesos externos¹

3.19. Los posibles efectos de nubes de gas venenoso, explosiones, caída de aviones y otros sucesos externos postulados deberían ser evaluados, si presentan interés.

Combinación de sucesos

3.20. Debería prestarse atención, cuando sea apropiado, a las combinaciones verosímiles de sucesos, haciendo uso del buen juicio técnico y de los resultados de análisis probabilistas de seguridad.

ACCIDENTES BASE DE DISEÑO

3.21. Los accidentes base de diseño para los sistemas de manipulación y almacenamiento de combustible deberían definirse a partir de la lista de sucesos iniciadores postulados, y abarcar las condiciones de contorno para las que deberían diseñarse los sistemas. Los accidentes base de diseño deberían incluir sucesos que pudieran afectar a la seguridad del reactor (por ejemplo, caída de cargas).

OTRAS CONSIDERACIONES

Clasificación y cualificación de equipos

3.22. Se deberían determinar todas las estructuras, sistemas y componentes (equipos incluidos) importantes para la seguridad de las instalaciones de manipulación y almacenamiento del combustible y, a continuación, clasificarse sobre la base de la función prevista y su relevancia para la seguridad.

¹ Para más orientaciones, ver refs. [9, 10].

3.23. La clasificación según la seguridad debería basarse en métodos deterministas, complementados oportunamente por métodos probabilistas y buen juicio técnico.

3.24. Las estructuras, sistemas y componentes importantes para la seguridad deberían diseñarse y cualificarse para resistir sucesos iniciadores postulados proporcionados a su clasificación de seguridad. Un fallo o un mal funcionamiento de un equipo no relacionado con la seguridad no debería conducir, directa o indirectamente, al fallo de un equipo relacionado con la seguridad.

3.25. El procedimiento de cualificación debería incluir elementos como: almacén de combustible nuevo, piscina de almacenamiento de combustible gastado, bastidores de almacenamiento del combustible, sistemas de refrigeración del agua de la piscina, equipos de manipulación y elevación, sistemas eléctricos de instrumentación y control, y edificios correspondientes. Se debería velar por que estos elementos se construyan con arreglo a los códigos y normas de diseño más exigentes².

Disposición en planta

3.26. La distribución física y la disposición de las instalaciones de almacenamiento de combustible deberían ser tales que garanticen la subcriticidad en todos los estados operacionales, durante cualquier accidente base de diseño, o posteriormente. Las instalaciones de almacenamiento deberían diseñarse de forma que se eviten daños materiales al combustible almacenado, y que se mantenga una geometría que permita la refrigeración en todas las condiciones, incluidas las de accidentes base de diseño.

Protección radiológica

3.27. El diseño ha de incluir sistemas que reduzcan al mínimo la emisión de sustancias radiactivas al medio ambiente, y que evite exposiciones del personal de la central y del público en general como consecuencia de situaciones de accidente que impliquen daños al combustible durante su manipulación y almacenamiento [5]. Debería considerarse un cálculo límite, tal como el correspondiente a la caída de un conjunto combustible que contenga el mayor inventario realista de productos de fisión con la consiguiente rotura de todas

² Para orientaciones sobre cualificación sísmica, ver ref. [11].

las varillas de combustible, con objeto de demostrar que, incluso adoptando hipótesis pesimistas respecto a las emisiones al medio ambiente, las consecuencias radiológicas permanecerían dentro de los límites permitidos. Para otras hipótesis menos moderadas, como el daño en una fila completa externa de varillas de combustible, debería aportarse justificación con argumentos mecánicos y empíricos.

3.28. Debería preverse blindaje para la protección del personal de la central en todas las operaciones. Se deberían utilizar combinaciones apropiadas de protección, incluidos enclavamientos y controles administrativos, para evitar que se trasladen combustibles irradiados u otros componentes radiactivos a lugares no blindados.

Agua de la piscina

3.29. Deberían preverse medios para vigilar las condiciones del agua de la piscina, y mantener condiciones aceptables en cuanto al nivel, química, claridad, actividad y temperatura del agua en la que el combustible se manipula y almacena.

Equipos de manipulación

3.30. El diseño de los equipos de manipulación debería dar la seguridad de que éstos resisten adecuadamente las cargas estáticas y dinámicas que puedan transmitirse a estructuras, sistemas y componentes.

3.31. Los equipos de manipulación deberían diseñarse para que funcionen con alta fiabilidad y se evite la caída de conjuntos combustibles y la transmisión de tensiones inaceptables sobre el combustible. El diseño de dichos equipos debería ser tal que, para cualquier movimiento del combustible, no se provoque daño al mismo si se produjera el fallo de un solo componente o un único fallo humano. Las excepciones al criterio de fallo de un solo componente, como en el caso de los componentes sometidos a fuertes tensiones en su trayectoria de elevación durante la recarga en servicio, deberían permitirse únicamente en elementos y componentes específicos diseñados con arreglo a las normas más exigentes, aportando la justificación correspondiente. Debería prestarse atención especial al equipo de manipulación de combustible de mezcla de óxidos y deberían especificarse los requisitos oportunos para el manejo de este tipo de combustible.

3.32. El desplazamiento de objetos por encima de las posiciones ocupadas por combustible almacenado o por otros objetos importantes para la seguridad debería evitarse mediante enclavamientos mecánicos o eléctricos.

3.33. Para el caso de fallo del sistema de manipulación de combustible debería preverse la utilización de un equipo manual capaz de colocar los conjuntos combustibles en posiciones seguras.

Inspección, pruebas y mantenimiento

3.34. El diseño de las instalaciones y equipos de almacenamiento y manipulación debería prever la accesibilidad adecuada para facilitar la inspección, pruebas y mantenimiento del equipo y la vigilancia de la radiación y contaminación.

3.35. Deberían preverse medios para la inspección e identificación de cada uno de los módulos de combustible irradiado y no irradiado.

Combustible dañado

3.36. El diseño debería incluir medios para la manipulación y almacenamiento seguro de los conjuntos combustibles o elementos combustibles que estén dañados, o se sospeche que lo estén, así como para la reconstitución del combustible dañado si fuera necesario durante el funcionamiento.

3.37. El diseño debería incluir medios para la descontaminación de las zonas y equipos de manipulación y almacenamiento del combustible, según sea apropiado.

Factores humanos

3.38. El diseño debería tener en cuenta los factores humanos de forma que propicie el establecimiento de procedimientos operacionales claros que minimicen el riesgo de errores. El diseño debería permitir la verificación de la operación prevista, y la detección de cualquier error de operación que pudiese originar problemas de seguridad significativos.

Clausura

3.39. Debería prestarse atención, durante la fase de diseño, a disponer medios que faciliten la clausura final de las instalaciones de manipulación y almacenamiento del combustible.

4. SISTEMAS DE MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO DEL COMBUSTIBLE NUEVO

GENERALIDADES

4.1. El diseño de las instalaciones de manipulación y almacenamiento del combustible nuevo debería ser tal que garantice en todo momento el cumplimiento de las funciones básicas de seguridad, de conformidad con lo establecido en el párrafo 3.1.

4.2. La subcriticidad debería estar asegurada en todo momento y en todos los lugares donde se almacene o manipule el combustible nuevo, a fin de evitar efectos graves de la radiación sobre la salud del personal de la central y del público en general, e impedir emisiones de material radiactivo. El diseño debería asegurar la subcriticidad incluso si se produjesen dos sucesos independientes anormales simultáneamente.

4.3. Las zonas de manipulación y almacenamiento del combustible nuevo deberían mantenerse en condiciones ambientales apropiadas, por ejemplo, de humedad, temperatura y limpieza del aire. No deberían permitirse en ningún momento contaminantes químicos en dichas zonas.

DISEÑO DEL SISTEMA

Análisis de subcriticidad

4.4. El diseño debería incluir un análisis de las instalaciones de almacenamiento de combustible, que demuestre que todo el sistema puede ser mantenido siempre en condiciones de subcriticidad bajo todas las configuraciones y situaciones posibles (normales y anormales), incluidas todas

las configuraciones transitorias posibles. Las condiciones postuladas deberían incluir la situación normal en seco, una situación de inundación, con o sin inyección de vapor, y una situación de inyección total de vapor, de forma que pueda establecerse cuál de ellas es la más rigurosa.

4.5. Al determinar la subcriticidad debería utilizarse un valor del factor de multiplicación efectivo k_{ef} o, como alternativa, del factor de multiplicación infinito k_{∞} , calculados de forma prudente. Las siguientes recomendaciones son de aplicación:

- a) Se debería demostrar que existe un margen adecuado de subcriticidad en todas las condiciones, teniendo en cuenta todas las incertidumbres de los códigos de cálculo y de los datos experimentales.
- b) Si varía el enriquecimiento de algún conjunto combustible, debería emplearse una modelización exacta o bien asumir un enriquecimiento de ese conjunto combustible basado en cálculos pesimistas.
- c) Si hay enriquecimientos distintos entre los conjuntos combustibles, el diseño de la instalación debería estar basado, generalmente, en el valor del enriquecimiento correspondiente al conjunto combustible más enriquecido o al conjunto combustible más reactivo.
- d) Cuando existan combustibles de diseños distintos y/o haya incertidumbres en cualquier dato relacionado con el combustible (referente al diseño, las especificaciones del material o de la geometría, tolerancias de fabricación, datos nucleares) se deberían aplicar valores moderados, calculados de forma pesimista, en todos los cálculos de subcriticidad. Si fuera necesario, se debería realizar un análisis de sensibilidad para cuantificar los efectos de tales incertidumbres.
- e) Debería suponerse que el inventario de la instalación de almacenamiento es el máximo que permite la capacidad de diseño.
- f) No se debería reconocer ninguna compensación por partes o componentes absorbentes neutrónicos de una instalación, a menos que estén permanentemente instalados, pueda ser determinada su capacidad de absorción neutrónica y sea improbable su degradación por cualquiera de los sucesos iniciadores postulados.
- g) Debería tenerse en cuenta cualquier deformación geométrica del combustible, o del equipo de almacenamiento, que pueda ser causada por cualquiera de los sucesos iniciadores postulados.
- h) Deberían adoptarse las hipótesis prudentes oportunas acerca del efecto de los sucesos operacionales previstos sobre la moderación.
- i) Se deberían tener en cuenta los efectos de la reflexión neutrónica.

- j) Las hipótesis sobre desacoplamiento neutrónico entre las distintas zonas de almacenamiento deberían estar respaldadas por los cálculos oportunos.

Disposición en planta

4.6. La configuración del almacenamiento del combustible debería ser subcrítica en todos los estados operacionales, así como durante accidentes base de diseño y después de éstos.

4.7. Las zonas de manipulación y almacenamiento de combustible nuevo deberían estar protegidas contra accesos no autorizados y retiradas de combustible no autorizadas.

4.8. La zona de almacenamiento de combustible no debería formar parte de los itinerarios de acceso a otras zonas no usadas para las operaciones de manipulación del combustible.

4.9. Los itinerarios de transporte para la recepción y salida del combustible deberían ser cortos y sencillos, acordes con los principios de la seguridad.

4.10. La disposición en planta debería proporcionar una salida fácil del personal en caso de emergencia.

4.11. La disposición en planta debería ser tal que impida el movimiento de objetos pesados por encima del combustible almacenado, tales como bastidores, contenedores de almacenamiento o útiles de elevación, cuya caída pueda dañar al combustible u otros elementos importantes para la seguridad. Las excepciones deberían justificarse.

4.12. La disposición en planta debería ser tal que dé la certeza de que los componentes del núcleo no irradiados que se prevea manejar o almacenar en las zonas destinadas al combustible nuevo sean acondicionados de forma segura y especificada.

4.13. Debería preverse suficiente espacio para permitir el necesario movimiento del combustible, de otros componentes del núcleo, contenedores de almacenamiento y equipos de manipulación.

4.14. Deberían preverse posiciones especificadas y adecuadas de almacenamiento para los conjuntos combustibles, componentes del núcleo y

contenedores de almacenamiento. La colocación inadvertida del combustible fuera de las posiciones prescritas debería impedirse físicamente.

4.15. La disposición en planta debería permitir la inspección del combustible, de los equipos de manipulación del combustible, incluidas las grúas, y de los contenedores de almacenamiento. Se debería proporcionar espacio para la reparación o reconstrucción del combustible dañado.

4.16. Una zona de almacenamiento en seco del combustible nuevo no debería contener ningún equipo operacional, tal como válvulas o tuberías, que requiera vigilancia normal periódica por parte del personal operador.

Protección contra inundación

4.17. La inundación por agua, u otro medio de moderación, de las zonas de almacenamiento en seco debería impedirse mediante un diseño apropiado de la instalación para evitar una criticidad inadvertida por efectos de moderación o por daños físicos al combustible. Al diseñar la zona de almacenamiento en seco debería tenerse en cuenta la presencia posible de materias moderadoras. Debería evitarse el paso de tuberías de conducción de agua a través de la zona de almacenamiento en seco.

Protección contra incendios

4.18. El diseño de las zonas de manipulación y almacenamiento del combustible debería ser tal que reduzca el riesgo de daños al combustible nuevo en caso de incendio.

4.19. Debería limitarse, y supervisarse, la presencia de materiales inflamables en las zonas de manipulación y almacenamiento del combustible, tales como material de embalaje que sea inflamable o sistemas de tuberías que transporten material inflamable. En tales zonas debería evitarse el tendido de cables eléctricos que no sean esenciales para el suministro de energía a los equipos de manipulación y almacenamiento del combustible nuevo. La zona de almacenamiento de combustible debería diseñarse de forma que la subcriticidad se mantenga durante un incendio y durante las actividades de extinción. En la lucha contra incendios solamente debería admitirse el uso de sustancias moderadoras neutrónicas, como agua o espuma, si puede verificarse que su efecto sobre la subcriticidad es despreciable. En las zonas de manipulación y almacenamiento del combustible deberían colocarse avisos que

muestren qué materiales de lucha contra incendios están permitidos y cuáles no lo están.

Materiales y construcción

4.20. Los materiales y métodos de construcción empleados deberían permitir una fácil descontaminación superficial. Debería tenerse en cuenta la compatibilidad entre los materiales de descontaminación y el ambiente de funcionamiento en todos los estados operacionales y los accidentes base de diseño. Debería impedirse cualquier entrada de agua que pudiera ocasionar corrosión local.

4.21. En el caso de sistemas de almacenamiento que utilicen absorbentes neutrónicos fijos, debería ser posible, a lo largo de toda la vida útil de la instalación, demostrar:

- que los absorbentes están realmente instalados;
- que no han perdido su eficacia o integridad física ni se han desplazado.

Manipulación de conjuntos combustibles de mezcla de óxidos

4.22. A causa del mayor nivel de radiación propio del combustible de óxidos mezclados, debería considerarse la conveniencia de prever blindaje adicional para la manipulación del combustible nuevo, con objeto de reducir la exposición del personal.

4.23. Dado que el escape de partículas de combustible puede dar lugar además a un peligro químico, deberían tomarse precauciones para proteger la integridad del combustible. La fuerza de elevación aplicada durante las operaciones de manipulación de los conjuntos combustibles debería limitarse, como precaución, al mínimo necesario.

EQUIPO

4.24. Deberían proporcionarse equipos adecuados para la manipulación, almacenamiento e inspección del combustible nuevo. Esto incluye normalmente:

- grúas o equipos de izado de cargas ligeras;
- mordazas, pinzas u otros útiles diseñados expresamente para la manipulación del combustible;

- mecanismos de basculación para llevar el combustible a una posición vertical (solamente en algunos diseños de reactor);
- bastidores de almacenamiento;
- plataformas o mesas de inspección que permitan el acceso a toda la longitud de las varillas de combustible para una inspección visual detallada;
- útiles para el montaje, desmontaje y reparación del combustible;
- útiles para la comprobación de las dimensiones físicas;
- monitores adecuados de contaminación y criticidad;
- instalaciones de limpieza;
- dispositivos apropiados de blindaje para combustible reprocesado o de óxidos mixtos.

4.25. Tanto el diseño del equipo como los procedimientos de manipulación del combustible deberían ser tales que den la seguridad de no causar ningún daño al combustible antes de cargarlo en el núcleo o durante la carga.

Cargas de diseño

4.26. En el diseño del equipo y en relación con las cargas debería considerarse lo siguiente:

- Debería llevarse a cabo un cálculo riguroso de la resistencia de los equipos de almacenamiento, inspección y manipulación, teniendo en cuenta adecuadamente las cargas de diseño. Las cargas de diseño deberían estar especificadas, y considerarse tanto las cargas estáticas como las dinámicas. En cuanto a las dinámicas, deberían considerarse las cargas sísmicas, definidas de conformidad con la clasificación de seguridad, y las cargas provocadas por condiciones operacionales o de accidente, incluidas las no simétricas. Debería tenerse en cuenta la aparición simultánea de las siguientes cargas operacionales:
 - cargas provenientes de conjuntos combustibles y otros componentes del núcleo que se hayan de almacenar, tales como dispositivos de control de reactividad y canales de combustible;
 - cargas provenientes del equipo de manipulación, incluidas las debidas a la aceleración.
- Si se requieren vehículos para el transporte de conjuntos combustibles nuevos y de sus contenedores, su diseño debería estar basado en la masa y el tamaño máximos de los objetos que se haya de transportar.

- Cuando el conjunto combustible realice movimiento de báscula, deberían limitarse las cargas originadas en su estructura mediante soportes que garanticen que no se producirá ningún daño.

4.27. Las tensiones derivadas de las cargas operacionales no deberían exceder los límites aceptables para los distintos materiales que soporten las cargas estructurales.

4.28. Deberían establecerse métodos y criterios para combinar las distintas cargas. Deberían especificarse las tensiones admisibles resultantes de los sucesos iniciadores postulados (véase la sección 3), por ejemplo aplicando normas establecidas, las cuales pueden ser distintas de las relativas al funcionamiento normal. En el análisis puede considerarse como compensación el equipo previsto específicamente para limitar cargas (mediante dispositivos como limitadores de desplazamiento o amortiguadores), y deberían considerarse los posibles modos de fallo de este equipo.

Otras consideraciones de diseño

4.29. Los equipos de manipulación y almacenamiento del combustible no deberían tener esquinas agudas ni bordes afilados que puedan dañar la superficie de los conjuntos combustibles o dificultar la suave inserción o retirada de éstos.

4.30. En el diseño del equipo de manipulación y almacenamiento debería considerarse la facilidad de inserción y extracción de los conjuntos combustibles. El equipo de manipulación debería diseñarse de forma que se impida la colocación inadvertida de combustible y componentes del núcleo en una posición que ya esté ocupada o que sea incorrecta. Puede preverse un sistema informatizado de gestión operacional, que impida la colocación inadvertida de un conjunto combustible en una posición incorrecta.

4.31. El sistema de manipulación y almacenamiento del combustible se debería diseñar de forma que no se produzcan cargas laterales, axiales y de flexión que causen cambios inaceptables de dimensiones.

4.32. El equipo de manipulación del combustible y los sistemas conexos deberían recalibrarse periódicamente o, en el caso de recarga fuera de servicio, por lo menos antes de iniciar la tarea de recarga. El equipo empleado para comprobar las dimensiones físicas del combustible no debería utilizarse para otros cometidos, y debería recalibrarse periódicamente.

4.33. Si se emplean medios como abrazaderas, para fijar los conjuntos combustibles en su posición, deberían colocarse de forma visible.

4.34. Si el operador requiere información relativa al estado del equipo de manipulación, incluso la posición de un conjunto combustible y/o un haz, o el estado de la pinza, se deberían prever indicadores apropiados, colocados convenientemente.

4.35. El equipo de elevación y descenso de conjuntos combustibles u otros componentes del núcleo debería estar diseñado de manera que no pueda aplicar cargas inaceptables a ningún componente. Para conseguir esto, deberían aplicarse protecciones automáticas o limitaciones físicas. Entre los métodos que pueden emplearse cabe citar:

- restricción de la potencia del motor de elevación;
- instalación de embragues deslizantes en los mecanismos accionadores;
- dispositivos automáticos de detección y registro continuos de carga, conectados al motor o al cable de elevación;
- una limitación especificada de velocidad.

4.36. La pinza de elevación de la máquina de manipulación de combustible debería diseñarse para sujetar de forma segura los conjuntos combustibles y transportar estos conjuntos u otros con seguridad.

Por lo tanto:

- a) Se debería obtener una indicación expresa de que la pinza de elevación está correctamente situada en el conjunto combustible antes de iniciar la elevación.
- b) La pinza debería quedar enclavada en caso de pérdida de alimentación.
- c) La pinza no debería poderse desacoplar del combustible mientras esté sometida a carga.
- d) La pinza solamente se debería desacoplar de su carga a elevaciones especificadas, incluso cuando no actúe ninguna carga.
- e) La pinza debería tener un dispositivo de seguridad intrínseca que impida que el conjunto combustible se desacople.

La recomendación c) debería cumplirse mediante el uso de enclavamientos mecánicos. Las recomendaciones a) y d) deberían cumplirse empleando enclavamientos automáticos, si ello es posible. Si no lo fuera, deberían aplicarse procedimientos administrativos estrictos.

4.37. Se debería prever equipo de funcionamiento manual de emergencia que garantice que, en cualquier circunstancia previsible, los conjuntos combustibles puedan ser colocados fácilmente durante su manipulación en un lugar seguro.

4.38. Deberían preverse dispositivos de protección que impidan que el equipo de manipulación de combustible pueda realizar movimientos horizontales durante la elevación o el descenso de combustible o de componentes del núcleo, si esto puede dar lugar a que el combustible se coloque en su posición de manera forzada.

4.39. Deberían existir dispositivos de protección para el movimiento de las máquinas de manipulación del combustible que impidan daños al combustible (por ejemplo, enclavamientos para evitar el movimiento de las máquinas demasiado cerca de las paredes de la piscina, o para impedir cualquier movimiento fortuito durante la manipulación de combustible).

4.40. El diseño de los dispositivos de protección electromecánicos y electrónicos debería cumplir el criterio de fallo único.

4.41. Las penetraciones del equipo de traslado en el edificio del reactor deberían considerarse en el diseño, cuando así corresponda, y deberían cumplir requisitos de diseño que sean acordes con los de dicho edificio.

4.42. El diseño del sistema de manipulación del combustible y sus equipos debería prever lo necesario para evitar pérdidas y fugas de lubricantes y de otros fluidos o sustancias que puedan degradar la pureza del agua de la piscina. Se debería evitar que tales sustancias entren en las instalaciones de almacenamiento en húmedo o, mejor aún, deberían ser completamente compatibles con el combustible, los equipos y las estructuras. El agua es completamente compatible, y puede emplearse en los sistemas y equipos de manipulación del combustible.

4.43. En el caso de los diseños que prevean el traslado del combustible nuevo para su almacenamiento en húmedo antes de cargarlo en el núcleo, son aplicables, cuando así corresponda, las recomendaciones de la sección 5 acerca del combustible irradiado.

SISTEMAS AUXILIARES

4.44. Se deberían prever los sistemas auxiliares apropiados para la zona de almacenamiento del combustible nuevo, que comprenden normalmente:

- un sistema de ventilación;
- un sistema de desagüe;
- sistemas de instrumentación y control, así como equipos de comunicación.

Ventilación

4.45. Cuando los conjuntos combustibles se almacenen fuera de sus contenedores estancos de transporte, el diseño del equipo de ventilación debería incluir dispositivos de filtrado que eviten que entren polvo u otras partículas en suspensión en la zona de almacenamiento del combustible nuevo. Si para el combustible nuevo se utiliza el mismo sistema de ventilación que para el combustible irradiado, este sistema se debería diseñar conforme a las recomendaciones de la sección 5.

Desagüe

4.46. Los desagües, cuando se prevean, deberían tener tal capacidad que aseguren un vaciado de agua suficiente para la posible tasa máxima de entrada, y no deberían suponer una posible causa de inundación por acumulación de agua. Habría que tener en cuenta la posibilidad de taponamiento de los desagües, sobre todo si el agua de la piscina contiene sustancias químicas que puedan cristalizar, y deberían disponerse medios para comprobar el libre paso del agua.

Sistemas de instrumentación y control, y equipos de comunicación

4.47. Deberían preverse los sistemas apropiados de instrumentación y control. Debería disponerse de sistemas fiables de comunicación oral en los dos sentidos entre las zonas de manipulación y almacenamiento de combustible y la sala de control correspondiente.

OPERACIONES DE MANIPULACIÓN

4.48. El diseño de los equipos de manipulación y almacenamiento del combustible debería garantizar la conformidad con los requisitos y las recomendaciones aplicables formuladas en las referencias [3, 7].

4.49. El diseño debería prever lo siguiente:

- manipulación segura en todos los estados operacionales y accidentes base de diseño;
- recepción de los contenedores de transporte, incluso su identificación y examen visual, así como el tratamiento del combustible dañado o inaceptable;
- inspección apropiada, operaciones de prueba y mantenimiento.

4.50. En el diseño se deberían tener en cuenta también las interacciones con otras operaciones necesarias e incluir, si ello se requiere, la preparación de instrucciones escritas.

5. SISTEMAS DE MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE IRRADIADO Y OTROS COMPONENTES DEL NÚCLEO

GENERALIDADES

5.1. El diseño de los sistemas de manipulación y almacenamiento de combustible irradiado debería ser tal que garantice en todo momento el cumplimiento de las funciones básicas de seguridad establecidas en el párrafo 3.1.

5.2. La subcriticidad debería estar asegurada en todo momento y en todos los lugares donde se almacene el combustible irradiado, a fin de evitar efectos graves de la radiación sobre el personal de la central y el público en general, e impedir emisiones de materias radiactivas. El diseño debería garantizar la subcriticidad, incluso si se produjesen dos sucesos independientes anormales simultáneamente.

5.3. El diseño debería incluir medios para la eliminación del calor residual del combustible irradiado. La capacidad de eliminación debería cumplir el criterio del fallo único, y ser tal que esa eliminación se realice a una tasa suficiente para evitar una degradación inaceptable de los conjuntos combustibles o de los sistemas de almacenamiento o sistemas auxiliares que pudiera provocar el escape de materias radiactivas. Se deberían especificar los parámetros límites de los sistemas de eliminación de calor residual.

5.4. Los niveles de contaminación deberían ser vigilados y reducidos al mínimo para garantizar un ambiente operacional seguro dentro de las zonas de la central, y evitar emisiones inaceptables de materias radiactivas. El diseño de la instalación de almacenamiento debería ser tal que las posibles fugas de agua de la piscina no puedan llegar a las aguas subterráneas.

5.5. Deberían preverse blindajes en todas las zonas en las que se coloque combustible irradiado o componentes activados del núcleo. La finalidad es proteger a los operadores, y mantener las dosis causadas por su exposición a la radiación directa de productos de fisión y de activación por debajo de los límites prescritos, y tan bajas como sea razonablemente posible [5].

5.6. Deberían evitarse los daños físicos a los conjuntos combustibles o a los elementos combustibles durante su manipulación o almacenamiento.

5.7. La química del medio de refrigeración debería controlarse de forma tal que impida, para todas las condiciones postuladas, el deterioro del material combustible, los componentes estructurales y la piscina de refrigeración.

5.8. Todos los sistemas deberían tener una fiabilidad adecuada a lo largo de la vida de diseño, en proporción a las consecuencias potenciales de sus fallos. Conforme determinen las evaluaciones específicas de diseño, alcanzar una fiabilidad adecuada de los sistemas puede exigir la utilización de materiales de construcción duraderos, redundancia en componentes clave, un objetivo de fiabilidad coherente con el funcionamiento de los servicios auxiliares (por ej., el suministro de energía eléctrica), planes eficaces de observación y programas eficaces de mantenimiento (compatibles con el funcionamiento normal de la instalación), según sea la tecnología de almacenamiento empleada.

DISEÑO DE LOS SISTEMAS

Análisis de subcriticidad

5.9. Además de los requisitos de diseño establecidos con el fin de asegurar la subcriticidad, debería llevarse a cabo un análisis de todos los estados operacionales y las condiciones de accidentes base de diseño, y posteriores a ellos, para demostrar que no se formará una configuración crítica.

5.10. Al determinar la subcriticidad, debería utilizarse un valor del factor de multiplicación efectivo k_{ef} o, como alternativa, del factor de multiplicación infinito k_{∞} , calculados de forma prudente. Deberían seguirse las directrices contenidas en el párrafo 4.5 para el combustible nuevo. Además, deberían considerarse los factores siguientes:

- a) Deberían preverse márgenes para el posible incremento de reactividad por la acumulación de isótopos fisionables, o por el decaimiento de isótopos absorbentes de neutrones.
- b) La presencia de venenos consumibles se debería tener en cuenta solamente sobre la base de una justificación que sea aceptable para el órgano regulador, y que incluya consideraciones sobre el posible aumento de la reactividad con el quemado.
- c) Si el combustible gastado no puede mantenerse subcrítico solamente por medio de su configuración, el diseño debería especificar medios adicionales, como absorbentes neutrónicos fijos o una compensación del quemado, para asegurar la subcriticidad. Si el agua de la piscina contiene absorbente neutrónico soluble, solamente se debería tener éste en cuenta en los estudios de subcriticidad si no hay posibilidad de aportar agua a la piscina que pueda causar una dilución. No se debería aplicar a la vez compensación por el absorbente neutrónico soluble y por el quemado a la misma zona de almacenamiento.
- d) Debería suponerse que todo el combustible tiene un grado de quemado y un valor del enriquecimiento correspondientes a la máxima reactividad, a menos que se adopte una compensación para el quemado basada en una justificación que incluya mediciones apropiadas que confirmen los valores calculados de contenido fisionable o del grado de empobrecimiento antes del almacenamiento del combustible.
- e) En todos los cálculos de criticidad deberían tenerse en cuenta los efectos de la reflexión neutrónica.
- f) Las hipótesis sobre desacoplamiento neutrónico entre las distintas zonas de almacenamiento deberían respaldarse con los cálculos oportunos.

- g) Debería tenerse en cuenta el posible almacenamiento de conjuntos incompletos de combustible gastado.

Disposición para el almacenamiento

5.11. Las recomendaciones de los párrafos 4.6-4.13 se aplican también a la disposición en planta para el almacenamiento.

5.12. Deberían utilizarse posiciones adecuadas y especificadas para almacenar los contenidos designados al efecto. Esto es aplicable a los conjuntos combustibles de todos los tipos, dispositivos de control de reactividad, conjuntos combustibles simulados, canales de combustible, equipos de instrumentación, fuentes neutrónicas, otros componentes del núcleo y otros elementos tales como contenedores de almacenamiento o contenedores de transporte. La capacidad de diseño no debería depender del almacenamiento de conjuntos combustibles en posiciones no permitidas, y debería ser físicamente imposible la colocación inadvertida de combustible fuera de las posiciones prescritas.

5.13. Debería disponerse de la adecuada capacidad de almacenamiento de combustible irradiado para permitir el suficiente decaimiento y la eliminación de calor residual antes de su transporte desde el reactor. En el caso de combustible de óxidos mezclados, deberían tenerse en cuenta sus valores más elevados de calor residual.

5.14. Al determinar la suficiencia de la capacidad de almacenamiento, debería cuidarse de satisfacer la necesidad máxima de almacenamiento del combustible que pueda surgir en cualquier momento a lo largo de la vida del reactor. Además, según el tipo de reactor, se debería disponer de espacio libre para descargar un núcleo completo en cualquier momento. En la fase de diseño debería tenerse en cuenta la posible necesidad de reparación de la piscina.

5.15. Se deberían adoptar medidas para el almacenamiento seguro de combustible dañado o con fugas. En particular, las medidas para el almacenamiento de conjuntos combustibles deberían minimizar el riesgo de diseminación de material fisionable durante su manipulación y almacenamiento.

5.16. Se deberían tomar medidas para la manipulación segura de cada contenedor, incluso con las posiciones de almacenamiento del combustible ocupadas hasta la máxima capacidad. El diseño de la zona de manipulación de

contenedores debería ser el adecuado para admitir los diferentes contenedores que se prevea usar en la instalación.

5.17. Entre otras consideraciones figuran las siguientes:

- El diseño debería permitir el acceso a todas las partes de la instalación de almacenamiento para las que se requieran inspección y mantenimiento periódicos (por ejemplo, de las soldaduras de unión entre las chapas del revestimiento de la piscina).
- Al fijar la disposición se debería tener en cuenta la descontaminación e inspección de los equipos para la manipulación de combustible, su almacenamiento y el manejo de los contenedores.
- Debería preverse espacio que permita las tareas que se requieran de inspección, identificación, desmontaje o reconstitución del combustible, incluidas posibles mediciones del quemado.
- Debería preverse espacio para el almacenamiento y la utilización de las herramientas y el equipo necesarios para reparar y realizar pruebas de componentes del núcleo, y del equipo de manipulación y almacenamiento del combustible. También podría necesitarse espacio para recibir otros componentes del combustible.
- La disposición debería ser tal que asegure el movimiento correcto del combustible, y que tanto el combustible como los equipos para su manipulación no sufran ningún daño.

Protección contra incendios

5.18. El objetivo del diseño debería consistir en limitar, en caso de incendio, el riesgo de daños al combustible irradiado, a las estructuras del almacén del combustible, a los sistemas de manipulación y almacenamiento y a los sistemas de seguridad.

Materiales y construcción

5.19. El diseño de una instalación de almacenamiento de combustible gastado debería basarse en la vida prevista, que es una vida útil especificada. La vida de diseño debería prever las actividades normales de inspección, reparación y sustitución de componentes.

5.20. Los sistemas y componentes relacionados con la seguridad de una instalación de combustible gastado deberían diseñarse para cumplir su función a lo largo de toda la vida de la instalación. Si esto no fuera posible, en el diseño

se debería tener en cuenta la sustitución segura de tales componentes o sistemas.

5.21. La selección de los materiales estructurales y métodos de construcción debería basarse en normas aceptables para el órgano regulador. Deberían tenerse en cuenta los posibles efectos acumulativos de la radiación sobre los materiales que, probablemente, estén sometidos a altos niveles de radiación.

5.22. Los materiales de las estructuras y componentes en contacto directo con los conjuntos combustibles gastados deberían ser compatibles con los materiales de dichos conjuntos, y no deberían contaminar el combustible con materias extrañas, que pudieran degradar significativamente la integridad del combustible durante su almacenamiento.

5.23. Debería prestarse atención especial a los efectos del entorno ambiental del almacenamiento sobre el combustible y los componentes relacionados con la seguridad. Además, debería evaluarse cualquier efecto de los cambios en el entorno ambiental del almacenamiento (por ejemplo, a causa de un proceso de mojado-secado-mojado).

5.24. Deberían tenerse en cuenta los efectos de agentes corrosivos situados dentro y fuera de los elementos que contengan el combustible gastado (por ejemplo, en la superficie de las vainas de combustible o en la estructura de la piscina).

5.25. En el caso de los sistemas de almacenamiento que utilicen absorbentes neutrónicos sólidos fijos, debería ser posible, a lo largo de toda la vida de la instalación, demostrar que:

- los absorbentes están realmente instalados;
- los absorbentes no han perdido su efectividad ni su integridad física, no han sido desplazados de su posición durante ningún estado operacional y no las perderían ni serían desplazados en ninguna situación de accidente.

Es admisible demostrar su efectividad mediante cálculos.

5.26. En las zonas de almacenamiento de combustible gastado pueden originarse situaciones de alta humedad, alta temperatura y altos niveles de radiación. En consecuencia, los componentes o sistemas relacionados con la seguridad deberían reunir las condiciones ambientales necesarias, y deberían

establecerse límites y/o tolerancias de forma que se inicien medidas correctoras cuando se excedan estos límites o tolerancias.

Cargas de diseño

5.27. Las recomendaciones de los párrafos 4.26-4.28 se aplican también a los equipos de manipulación y almacenamiento del combustible irradiado.

5.28. En condiciones de funcionamiento normales y de accidentes base de diseño, deberían limitarse las cargas adecuadamente a fin de tener la seguridad de que no se causa daño al combustible ni una criticidad inadvertida, y que no se causa ningún daño a la estructura de la piscina de almacenamiento del combustible gastado ni a los equipos para su manipulación (en lo concerniente a los contenedores, véase la sección 6).

5.29. En el diseño deberían considerarse las cargas siguientes:

- la carga resultante de la máxima cantidad de conjuntos combustibles almacenados, dispositivos de control de reactividad, conjuntos de venenos neutrónicos, conjuntos simulados y otras piezas que puedan ser almacenadas;
- la presión hidrostática del agua;
- cargas causadas por el contenedor completamente lleno y otros equipos de transporte;
- cargas inducidas por la temperatura;
- cargas sísmicas;
- otras cargas estáticas o dinámicas, como las cargas caídas dentro de piscinas de combustible.

5.30. Deberían tenerse en cuenta los efectos de la radiación sobre estructuras, sistemas y componentes.

Sistemas de agua de la piscina, de purificación y de refrigeración

5.31. En el diseño debería considerarse lo siguiente:

- Dotación de sistemas de vigilancia del nivel y la temperatura.
- Evitación del sobrellenado de la piscina de almacenamiento. El volumen de la piscina debería dar la seguridad de que, en caso de mal funcionamiento de su sistema de refrigeración, transcurrirá un largo período de tiempo hasta que el agua alcance el punto de ebullición.

- El sistema de aportación de agua debería diseñarse para compensar las pérdidas de la misma en todos los estados operacionales y en accidentes base de diseño, y debería utilizarse una fuente fiable de suministro. El diseño debería también dar la seguridad de que la pérdida de blindaje o de refrigeración no será obstáculo al acceso de personal, si fuera necesario, para aplicar los procedimientos de aportación de emergencia.
- El trazado de tuberías debería realizarse de forma que, en el caso de efecto sifón o de rotura de alguna tubería conectada, el nivel de agua de la piscina de combustible gastado no descienda por debajo del nivel necesario para que el combustible irradiado almacenado permanezca sumergido en condiciones de seguridad. Las penetraciones en la piscina deberían estar por encima de ese nivel, para minimizar los efectos de un fallo en dichas penetraciones.
- Cuando se utilicen compuertas entre diferentes piscinas, éstas deberían diseñarse para resistir la máxima presión estática del agua por ambos lados. El nivel inferior de las compuertas debería estar suficientemente por encima de la cabeza de los conjuntos combustibles almacenados, de forma que se mantenga el blindaje adecuado. Las compuertas deberían estar provistas de juntas de estanqueidad resistentes a la radiación. El diseño de las juntas debería ser tal que puedan resistir la pérdida de función de un sistema auxiliar (como el suministro de aire comprimido).
- Deberían preverse sistemas de vigilancia de fugas y sistemas de recogida y eliminación de las mismas.

5.32. Deberían especificarse los límites de concentración de sustancias radiactivas, y ser respetados en todas las zonas de manipulación y almacenamiento del combustible. Deberían establecerse los requisitos relativos a la calidad del agua y a los niveles de contaminación atmosférica.

5.33. Solamente se debería usar agua controlada químicamente. Debería preverse un sistema de purificación de agua diseñado de tal forma que:

- las impurezas radiactivas, iónicas y sólidas, provenientes de productos de activación, de combustible dañado o de otros materiales, puedan ser extraídas del agua de forma que garantice que la tasa de radiación causada por el agua protectora misma pueda mantenerse dentro de los límites requeridos;
- se cumplan las limitaciones relativas a la química del agua de la piscina (por ejemplo, concentración de boro, contenido de cloruros, sulfatos y fluoruros según el caso, valores de pH y de conductividad), definidas para

el funcionamiento con miras a mantener la subcriticidad y minimizar la corrosión;

- pueda mantenerse un grado aceptable de claridad del agua;
- se prevean medios para controlar el crecimiento microbiano, según sea apropiado;
- pueda evitarse la dilución del boro en las piscinas donde se utilice el boro soluble para el control de reactividad.

Debería instalarse un sistema automático de vigilancia y alarma para el contenido de boro.

5.34. Deberían preverse medios y equipos para quitar impurezas y partículas suspendidas de la superficie del agua de la piscina.

5.35. Para las operaciones en las que pueda aumentar la liberación de materias radiactivas o la suspensión de partículas, por ejemplo, durante una reconstitución de combustible, deberían preverse medios que permitan extraer localmente agua de la piscina y llevarla hasta el sistema de purificación o hasta un equipo local de purificación. Deberían también preverse medios para impedir la dispersión de materias radiactivas suspendidas en el aire, incluso halógenos, procedentes de la superficie de la piscina (por ejemplo, situando las entradas de ventilación y succión del sistema de aire acondicionado cerca de la superficie de la piscina).

5.36. Si se instalan en las piscinas de almacenamiento del combustible irradiado unidades extractoras de productos de fisión (basadas generalmente en resinas), deberían preverse los medios apropiados para su almacenamiento a largo plazo, o disposición final de estas unidades, de forma que se impida la emisión posterior al medio ambiente de los productos de fisión absorbidos.

5.37. Deberían preverse sistemas contra la acumulación inaceptable de contaminación en todas las zonas de almacenamiento, y que permitan, si ocurre tal acumulación, reducir ésta a niveles aceptables. Las tuberías deberían diseñarse con el mínimo de bridas u otros elementos (como purgadores o lazos) en los que pudiera acumularse materia radiactiva.

5.38. Los sistemas de refrigeración de la piscina deberían diseñarse de modo que garanticen lo siguiente:

- eliminación del máximo calor posible que pueda ser generado por el combustible almacenado en la piscina y mantenimiento de la temperatura de la misma por debajo del límite de funcionamiento normal;
- mantenimiento de la integridad de las vainas del combustible;
- control del nivel del agua;
- control de la temperatura media del agua a un nivel acorde con los requisitos de diseño del revestimiento y estructuras de la piscina;
- limitación de la dispersión de la posible contaminación causada por evaporación o ebullición del refrigerante (debería tenerse en cuenta la ebullición del refrigerante en caso de accidente);
- aceptabilidad de los niveles de humedad dentro de la zona, con respecto al mantenimiento de la aptitud funcional de los equipos (como los de filtrado y eléctricos);
- aceptabilidad de las condiciones de trabajo de los operadores;
- redundancia o diversidad funcional de los sistemas de refrigeración;
- conformidad con el criterio de fallo único.

5.39. Los límites de temperatura del agua de la piscina deberían definirse considerando las cargas térmicas de diseño, liberación de materiales radiactivos desde el agua, efectos sobre la estructura de la piscina y sobre los componentes de los sistemas de refrigeración y purificación, bastidores de almacenamiento de combustible y equipo de manipulación dentro de la zona de almacenamiento, pérdida de agua, bienestar de los operadores y efectos sobre equipos auxiliares, tales como equipos eléctricos y de filtración de aire. Pueden definirse límites distintos para estados operacionales y para condiciones de accidente. Los sistemas de refrigeración de la piscina deberían diseñarse de forma que garanticen, con fiabilidad suficiente, que la temperatura del agua no exceda límites adecuados prefijados. Si se pudieran producir pérdidas por ebullición o por excesiva evaporación del agua de la piscina después de una situación de accidente, deberían especificarse los límites de diseño para las estructuras y sistemas de la piscina (tasa máxima de evaporación, nivel mínimo del agua). Los sistemas de refrigeración de la piscina deberían cumplir requisitos que aseguren su re arranque en condiciones próximas a la ebullición del agua de la piscina.

Blindaje

5.40. El diseño debería asegurar la presencia de blindaje adecuado contra la radiación en la zona de operaciones, y en los recintos y zonas adyacentes a los lugares donde estén situados los sistemas de manipulación de combustible. En el análisis de blindajes, debería suponerse con criterio pesimista que:

- todos los posibles lugares de almacenamiento del combustible están ocupados; todo el combustible tiene el quemado máximo de diseño de aquel que lo tenga más alto, y es aplicable un periodo de enfriamiento prudente, según sea apropiado.
- se mantiene un nivel de agua mínimo admisible por encima de los conjuntos combustibles, teniendo en cuenta la elevación máxima de un conjunto combustible durante las operaciones de manipulación.
- las máquinas y equipos de recarga están llenos de combustible gastado o de material irradiado, con el máximo nivel de actividad verosímil, y están ubicados en las posiciones más desventajosas.

5.41. Se deberían prever equipos redundantes para medir el nivel del agua, y que estén conectados al sistema de alarmas de la sala de control apropiada. Se debería prever una alimentación fiable de agua de aportación, que esté disponible en todos los estados operacionales y en condiciones de accidente. Debería tenerse en cuenta la posibilidad de un vaciado rápido del agua de la piscina como consecuencia de la pérdida de estanqueidad de una compuerta. El nivel del agua, tras dicho vaciado, debería ser suficiente para impedir que quede al descubierto cualquier conjunto combustible durante la manipulación. Si esto no pudiera demostrarse, debería entonces limitarse la probabilidad de tal vaciado, por el diseño y construcción del edificio (por ejemplo, utilizando doble aislamiento).

5.42. Se deberían diseñar los equipos de manipulación para impedir que se produzca una colocación o elevación inadvertida de combustible irradiado que lo sitúe en posiciones no blindadas.

5.43. A fin de reducir la exposición del personal a la radiación, el diseño debería prever, cuando sea posible, la regulación remota y/o la automatización y mecanización de todos los procesos relacionados con la carga, descarga y manipulación de conjuntos combustibles, operaciones de reparación y operaciones que impliquen la sustitución de equipos radiactivos.

Estanqueidad

5.44. Las zonas de almacenamiento y manipulación deberían estar diseñadas de modo que no haya ninguna fuga. La tasa posible de pérdida de estanqueidad, tras unas condiciones específicas de accidente, no debería exceder la capacidad de aportación de agua, con objeto de asegurarse de que cualquier consecuencia de la fuga de agua se mantiene dentro de límites aceptables en cuanto a emisión de materias radiactivas y conservación del

inventario. La monitorización de la estanquidad debería ser posible en todos los diseños.

5.45. Las piscinas deberían diseñarse provistas de medios para recoger cualquier agua de fuga. Debería ser posible localizar y reducir las fugas que rebasen límites aprobados. Al diseñar la piscina de almacenamiento, deberían preverse medios para reparar los daños que sufra en caso de que un incidente origine fugas. Deberían poderse inspeccionar las instalaciones de almacenamiento, para prever cualquier fuga potencial y detectar toda fuga no captada por el sistema colector de fugas. Debería contarse con una instalación de almacenamiento temporal para permitir la transferencia del contenido de la piscina, de forma que se pueda reparar la estructura de la misma así como de los elementos y equipos conexos.

EQUIPO

5.46. Deberían preverse equipos para la manipulación segura del combustible irradiado u otros componentes, bien como conjuntos completos, o como partes de un conjunto, o en contenedores diseñados especialmente. Estos equipos comprenden normalmente:

- la máquina de manipulación de combustible;
- equipos de transferencia del combustible;
- dispositivos de elevación del combustible;
- dispositivos para elevación de componentes del núcleo;
- equipos para desmontar y reconstituir el combustible;
- equipos de inspección del combustible;
- dispositivos de manipulación de los contenedores de almacenamiento de combustible;
- equipos de protección radiológica;
- equipos de descontaminación.

5.47. Todos los equipos de manipulación y almacenamiento del combustible gastado deberían cumplir las recomendaciones aplicables a los sistemas similares empleados para el combustible nuevo, y las recomendaciones de diseño enunciadas en los párrafos 5.1–5.8.

Cargas de diseño

5.48. Las recomendaciones de los párrafos 5.27-5.30 se aplican también a los equipos de manipulación y almacenamiento del combustible irradiado y de componentes del núcleo.

Equipos de manipulación

5.49. Además de las recomendaciones relativas a los equipos de manipulación y almacenamiento del combustible irradiado y de otros determinados componentes del núcleo, también son aplicables las recomendaciones oportunas de la sección 4, relativas a los equipos de manipulación y almacenamiento de combustible nuevo, dando la debida consideración a los efectos de la radiación.

5.50. El equipo para izar conjuntos combustibles u otros componentes del núcleo debería ser diseñado de tal manera que la elevación quede controlada dentro de límites fijos y aceptables. Los equipos deberían recalibrarse periódicamente o, en el caso de recarga fuera de servicio, por lo menos al inicio de la recarga.

5.51. Debería impedirse, por medios físicos, que el combustible se eleve en exceso, usando para ello barras de longitud adecuada que conecten la pinza de agarre con la grúa, o mediante topes mecánicos en el cable elevador. Deberían también preverse enclavamientos eléctricos para impedir el movimiento de la máquina de recarga mientras el combustible esté en una posición incorrecta.

5.52. El diseño debería incluir las siguientes consideraciones específicas:

- las herramientas huecas de manipulación que se usen bajo el agua deberían diseñarse de modo que se llenen de agua al sumergirse (para mantener el blindaje con agua) y se vacíen al sacarlas;
- el diseño de los sistemas de manipulación debería ser tal que no generen partes sueltas cuando se utilicen;
- cuando se prevean herramientas o dispositivos corrientes para realizar operaciones no relacionadas con la manipulación del combustible y los componentes del núcleo, deberían diseñarse de manera que no impidan ninguna acción que sí se relacione con la seguridad.

Equipos de inspección y desmontaje

5.53. Se deberían prever equipos para la inspección directa o remota de los conjuntos combustibles y de otros componentes del núcleo, visualmente o por otros métodos.

5.54. Debería preverse el equipo adecuado de desmontaje por si fuera necesario dismantelar conjuntos combustibles para guardar las partes reutilizables, como los canales o envueltas del combustible, y por si fuera necesario el desmontar el combustible antes de su almacenamiento.

5.55. El equipo de detección de conjuntos combustibles averiados debería ser capaz de detectar la avería de conjuntos combustibles irradiados, sin por ello afectar a la integridad estructural de los mismos.

5.56. Los equipos de inspección, desmontaje y reconstitución deberían diseñarse de modo que minimicen los efectos de la radiación y eviten el sobrecalentamiento del combustible.

Equipos de almacenamiento

5.57. Cuando el combustible se almacene antes de su transporte, bien en un contenedor alejado del reactor o con equipos de traslado a otras zonas de almacenamiento en el emplazamiento, deberían preverse medios de almacenamiento, como bastidores o contenedores. El diseño debería incluir las siguientes consideraciones:

- a) Todas las posiciones de almacenamiento de combustible deberían ser accesibles por medio de equipos de manipulación apropiados.
- b) Debería impedirse tanto la basculación de los bastidores como el movimiento de los contenedores de combustible tras un suceso iniciador postulado, a menos que pueda demostrarse que no se produciría ningún riesgo a causa de tal movimiento.
- c) Los equipos deberían diseñarse de forma que se minimice la posibilidad de que los conjuntos combustibles queden sometidos a excesivas cargas laterales, axiales y de flexión durante su manipulación y almacenamiento. Debería tenerse en cuenta la variación de las dimensiones de los componentes a consecuencia del funcionamiento.
- d) Si es necesario hacer bascular o girar los contenedores de transporte o las de almacenamiento, estos equipos se deberían diseñar de modo que

soporten el combustible en forma tal que no se produzca ningún daño a los elementos combustibles durante esas operaciones.

- e) Los equipos de almacenamiento deberían estar diseñados de forma que sea fácil su desmantelamiento o retirada, con objeto de permitir la revisión de los bastidores y el mantenimiento del revestimiento de la piscina.
- f) En el diseño de los equipos de almacenamiento deberían tenerse en cuenta los efectos potenciales del calentamiento de los materiales empleados. Debería evitarse la ebullición del agua en los espacios intermedios. El diseño del reticulado de almacenamiento debería evitar cualquier incremento de reactividad causado, por ejemplo, por aire o vapor que quede atrapado durante la manipulación o almacenamiento del combustible.

SISTEMAS AUXILIARES

5.58. Además de las recomendaciones relativas a los sistemas auxiliares pertenecientes a las zonas del combustible nuevo, formuladas en los párrafos 4.29–4.43 y 4.45–4.47, son aplicables también las recomendaciones siguientes.

Equipo de iluminación

5.59. La zona de la piscina debería disponer del necesario equipo de iluminación, que permita manipular, inspeccionar visualmente e identificar los conjuntos combustibles de forma satisfactoria. Se debería considerar la conveniencia de instalar medios de iluminación bajo el agua cerca de las zonas de trabajo, y medios para reponer las lámparas subacuáticas. Los materiales empleados para la iluminación subacuática deberían ser adecuados a las condiciones de entorno, y en particular, no deberían sufrir corrosión inaceptable ni causar una contaminación inaceptable del agua. Deberían tener, en la mayor medida posible, resistencia a impactos y a choques térmicos.

Equipos de refrigeración y purificación del agua

5.60. Deberían preverse equipos de refrigeración y purificación del agua de la piscina. Estos equipos pueden tener elementos comunes para cumplir los objetivos de refrigeración y purificación. Si se usa un sistema local o portátil de extracción del agua para su purificación, su capacidad de caudal, más una tolerancia para las fugas de la piscina, debería ser menor que la capacidad del sistema de aportación.

5.61. Debería prestarse atención a garantizar la adecuada fiabilidad de la función de refrigeración.

5.62. Se deberían prever instalaciones para la descontaminación de los equipos de manipulación del combustible, y para la limpieza y descontaminación de los contenedores si lo requieren.

5.63. Deberían preverse medios para evitar, de forma activa, que los sistemas instalados para la extracción de agua la vacíen el agua por debajo del nivel de seguridad.

Sistemas de monitorización radiológica y de ventilación

5.64. En las zonas en las que se maneje y almacene el combustible irradiado, se deberían prever equipos de monitorización radiológica y de alarma para la protección del personal. Esto debería incluir un número suficiente de monitores de radiación para asegurar la protección de los operadores de las máquinas de manipulación de combustible. Se deberían prever medios para la monitorización continua del aire en cualquier zona en la que puedan escapar partículas radiactivas en suspensión en el aire durante la manipulación del combustible irradiado.

5.65. Los equipos de ventilación y filtrado deberían instalarse y funcionar de forma tal que se limite la concentración y la posibilidad de escape de partículas radiactivas en suspensión en el aire. En general, la corriente de aire de ventilación debería desplazarse de zonas de baja contaminación a zonas de mayor contaminación, impidiéndose el flujo inverso. El sistema de ventilación puede diseñarse también de modo que evite una humedad elevada en las instalaciones de almacenamiento en húmedo, facilite un medio ambiente controlado, libre de polvo, que reduzca los depósitos de polvo sobre la superficie de la piscina, y evite cualquier peligro debido a gases inflamables o explosivos.

5.66. Los equipos de monitorización radiológica y de ventilación están sujetos a los requisitos de las Normas básicas de seguridad [5].

OPERACIONES

Operaciones de manipulación

5.67. El diseño debería dar la seguridad de que se cumplen, o de que es posible cumplir, los requisitos y recomendaciones específicos formulados en las refs. [3, 7].

5.68. El diseño debería incluir lo necesario para:

- todas las operaciones de manipulación de combustible planeadas o previstas;
- las operaciones adecuadas de inspección, pruebas y mantenimiento;
- la toma en consideración de las interacciones con otras operaciones necesarias.

5.69. El diseño debería prever medios para asegurar la subcriticidad durante la retirada de absorbentes del núcleo. Deberían tomarse las siguientes medidas administrativas y protectoras, según proceda, atendiendo al tipo de reactor:

- restringir el número de dispositivos de control de reactividad que puedan retirarse al mismo tiempo, limitando la dotación de equipos necesarios para su extracción;
- asegurarse de que, antes de extraer un conjunto combustible que albergue un dispositivo de control, se han extraído los conjuntos combustibles adyacentes;
- introducir en el refrigerante suficiente absorbente para garantizar que, incluso si todos los dispositivos de control se extraen, no se podrá alcanzar la criticidad.

Recarga en servicio

5.70. La integridad de la barrera de presión para la transferencia de calor del reactor debería mantenerse siempre que el reactor se encuentre funcionando a potencia. El diseño debería ser coherente con este principio en el caso de los sistemas de manipulación de combustible que recarguen en esas condiciones. Deberían tomarse medidas para asegurar la integridad de la contención en todo momento durante el paso del combustible a través de la barrera de contención.

5.71. La integridad de la máquina de recarga debería ser coherente con la integridad de la barrera de presión. Debería minimizarse la probabilidad de un

accidente de pérdida de refrigerante y/o la eyección de combustible gastado o de dispositivos de control.

5.72. A fin de asegurar la integridad de la barrera de presión durante las operaciones de carga, deberían preverse medios para verificar la estanqueidad del sistema antes de retirar y después de instalar un cierre en la barrera de presión.

5.73. Mientras la máquina de recarga esté conectada a un canal de combustible, debería impedirse cualquier movimiento que pudiera ocasionar una ruptura de la barrera de presión. Debería evitarse que la máquina de recarga aplique una carga excesiva sobre el canal de combustible. Las operaciones de recarga no deberían repercutir en el funcionamiento del reactor causando peligro en otras partes de sus sistemas. Debería ser posible poner fin con seguridad a cualquier operación de recarga después de un suceso que afecte al reactor.

MEDIDAS PARA EL DESMONTAJE Y RECONSTITUCIÓN DEL COMBUSTIBLE IRRADIADO

5.74. Los equipos de desmontaje, reconstitución y manipulación de elementos combustibles deberían preservar la integridad de las varillas de combustible. Sus diseños deberían evitar posibles daños al combustible, provocados por cargas debidas al izamiento de conjuntos combustibles o de elementos combustibles desmontados, o por otras operaciones de manipulación como movimientos de báscula, o por alteraciones de las vainas de combustible.

5.75. Durante el desmontaje y reconstitución del combustible, deberían preverse medios fiables para la eliminación del calor residual de los elementos irradiados.

5.76. La acumulación de polvo y gases radiactivos debería evitarse mediante un diseño y funcionamiento adecuados de los sistemas de ventilación o mediante la circulación de aire de refrigeración, así como minimizando las características del equipo que tiendan a acumular polvo y gases. Todo el caudal de ventilación extraído de las instalaciones de desmontaje debería filtrarse para eliminar las sustancias radiactivas.

5.77. Las recomendaciones sobre el diseño para el blindaje en las operaciones, la prevención de criticidad y la caída de combustible u otros elementos se aplican también a las operaciones de desmontaje del combustible gastado.

DISPOSICIONES RELATIVAS AL COMBUSTIBLE DAÑADO

5.78. El combustible dañado, por ser una fuente potencial de contaminación, debería colocarse en contenedores de almacenamiento adecuados. Los contenedores deberían diseñarse para resistir las temperaturas y presiones resultantes del calor residual del combustible irradiado y de las reacciones químicas entre el combustible o sus vainas con el agua circundante.

5.79. En el diseño deberían tomarse en consideración los procedimientos que se vayan a adoptar para la retirada de los conjuntos combustibles u otros componentes del núcleo dañados. El diseño de herramientas especiales para la manipulación de combustible dañado debería estar en conformidad con las recomendaciones destinadas a asegurar la subcriticidad y el blindaje mencionadas anteriormente. Se deberían especificar los procedimientos para permitir el uso de equipos no normalizados y se debería observar un control administrativo estricto.

MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE OTROS COMPONENTES IRRADIADOS

5.80. La manipulación y almacenamiento de otros componentes irradiados del núcleo del reactor que no contengan combustible debería tomarse en consideración al diseñar los sistemas de manipulación. Entre ellos pueden figurar componentes tales como dispositivos de control de reactividad o de parada, instrumentación intranuclear, fuentes neutrónicas, restrictores de caudal, canales de combustible, absorbentes consumibles y muestras del material de la vasija.

Componentes del núcleo

5.81. Deberían seguirse las recomendaciones de los párrafos 5.1–5.57, siempre que sean aplicables. En relación con los componentes del núcleo, se debería prestar atención especial a lo siguiente:

- Se debería garantizar el adecuado blindaje de los componentes irradiados.
- Cuando sea necesaria la inspección de componentes irradiados, deberían preverse enclavamientos y otros medios, según corresponda, para asegurar la protección de los operadores contra una exposición.

- Deberían preverse medios para trasladar componentes irradiados a un contenedor adecuado de transporte, cuando sea necesario.
- Cuando sea necesario debería disponerse de instalaciones previamente especificadas de almacenamiento y disposición final, así como instalaciones de inspección.
- En las manipulaciones, debería tenerse especial cuidado de proteger el combustible almacenado y limitar la posible dispersión de contaminación.
- Los componentes irradiados del núcleo no deberían guardarse en la zona de almacenamiento del combustible nuevo. Si fuera necesario, deberían tomarse medidas para depositarlos temporalmente en la instalación de almacenamiento de combustible irradiado.

Fuentes neutrónicas

5.82. Deberían preverse los blindajes y equipos de monitorización suficientes para proteger al personal contra las radiaciones ionizantes provenientes de las fuentes neutrónicas. Al recibir contenedores de transporte que lleven fuentes radiactivas deberían realizarse comprobaciones de la posible contaminación. Los contenedores de transporte empleados para fuentes radiactivas deberían estar marcados claramente, de conformidad con los requisitos del órgano regulador.

5.83. Durante la manipulación de fuentes neutrónicas deberían monitorizarse las tasas de dosis causadas por neutrones y rayos gamma.

5.84. Se deberían tomar medidas para la clara identificación de todas las fuentes, y tener implantado un sistema de reglas administrativas para controlarlas.

Elementos reutilizables del reactor

5.85. En la mayoría de los tipos de reactor, existen algunos componentes del núcleo y elementos de los conjuntos combustibles que pueden ser reutilizados (por ejemplo, canales de combustible en los reactores de agua en ebullición, conjuntos de restrictores de caudal en los reactores de agua a presión o unidades de taponamiento en los reactores avanzados refrigerados por gas). Estos elementos pueden estar altamente activados. Si se llevan a las zonas de montaje, deberían minimizarse la dispersión de la contaminación y la exposición del personal a la radiación.

5.86. Los componentes reutilizables deberían poderse inspeccionar, según sea necesario, para asegurar su estabilidad dimensional y la ausencia de cualquier daño resultante de la operación o manipulación. Cuando los componentes reutilizables contengan elementos sustituibles (como por ejemplo, juntas), debería ser factible inspeccionar tales elementos.

5.87. El diseño de los sistemas de manipulación y almacenamiento de combustible irradiado debería ser tal que evite la contaminación de componentes reutilizables por materiales que puedan afectar a la integridad de los componentes del reactor, una vez que los componentes reutilizables hayan sido reinsertados.

6. MANIPULACIÓN DE LOS CONTENEDORES DE COMBUSTIBLE

REQUISITOS DE DISEÑO PARA LA MANIPULACIÓN DE LOS CONTENEDORES DE COMBUSTIBLE

6.1. El equipo disponible en el emplazamiento de un reactor debería estar en concordancia con los requisitos para la manipulación de los contenedores de combustible³ que se vayan a emplear.

6.2. Las estructuras, sistemas y componentes deberían diseñarse, así como establecerse procedimientos, para impedir que las actividades relacionadas con el funcionamiento del reactor se vean afectadas por la labor de manipulación de los contenedores.

6.3. Las estructuras, sistemas y componentes deberían diseñarse, así como establecerse procedimientos, para impedir o minimizar, en la medida de lo posible, la contaminación de los contenedores de traslado y de los bultos de transporte. Deberían preverse instalaciones para la descontaminación de los

³ Los contenedores que hayan de transportarse fuera del emplazamiento están sujetos a los requisitos del Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos [12, 13] y otras normas internacionales y reglamentos nacionales pertinentes. La presente guía no trata del diseño de esos contenedores.

contenedores antes de su transporte o de su traslado al almacenamiento, y realizar en ellos pruebas de estanqueidad, pruebas de la contaminación superficial y otras pruebas necesarias. Deberían preverse medidas para captar los fluidos utilizados en la descontaminación o la limpieza del sistema de refrigeración del contenedor (cuando proceda) y verterlos al sistema de desechos radiactivos.

6.4. El itinerario de transporte dentro de la central debería ser lo más corto posible, de modo acorde con la seguridad. Debería evitarse el paso por encima del combustible almacenado. Si la caída o la basculación de un contenedor se postulan como sucesos iniciadores, deberían tenerse en cuenta estas posibilidades en el diseño. El combustible almacenado, el revestimiento de la piscina de combustible, y los sistemas de refrigeración y del reactor esenciales para la seguridad de éste, deberían protegerse adecuadamente.

6.5. Los dispositivos de elevación deberían diseñarse de manera que se impida la caída de cargas pesadas. Si el sistema de elevación del contenedor es tal que el fallo de un solo componente pudiera causar una carga inaceptable por caída, deberían emplearse amortiguadores, juntamente con limitadores de altura de elevación, al objeto de mitigar los efectos potenciales. Debería reducirse la probabilidad de accidente de caída de un contenedor mediante el diseño adecuado de la grúa y la utilización de procedimientos apropiados de inspección, pruebas y mantenimiento de la grúa y del engranaje de elevación conexo, así como mediante la instrucción adecuada de los operadores.

6.6. La zona de manipulación de los contenedores debería disponerse de forma que haya un espacio adecuado alrededor del contenedor para su inspección, monitorización radiológica y pruebas de descontaminación. Debería preverse el espacio necesario para el almacenamiento de contenedores y equipos correspondientes (tales como amortiguadores de impacto).

EQUIPOS DE MANIPULACIÓN DE CONTENEDORES DE COMBUSTIBLE

6.7. Los equipos de manipulación de los contenedores deberían ser compatibles con los de elevación del combustible y sus componentes e incluir:

- vehículos para mover los contenedores;
- grúas y dispositivos asociados para la elevación de los contenedores y de sus tapas y elementos internos;

- equipos de descontaminación;
- equipos de monitorización radiológica;
- un sistema de vaciado y limpieza con agua y/o purga de los contenedores;
- herramientas para desmontar las tapas de los contenedores;
- equipos de pruebas de los contenedores;
- medidas y dispositivos para impedir la contaminación radiactiva de las superficies exteriores de los contenedores;
- equipos de iluminación.

6.8. Los vehículos o grúas empleados para el traslado de contenedores deberían diseñarse de modo que se limite la posibilidad de caída o de basculación involuntaria de los mismos. Los vehículos y las grúas deberían estar provistos de un sistema de frenado fiable para asegurarse de que no se muevan involuntariamente. Deberían preverse sistemas dobles de frenado, cada uno con capacidad de parada a plena carga. Deberían preverse limitadores de velocidad para los movimientos de las grúas en sentido vertical y horizontal a fin de garantizar la manipulación segura de los contenedores.

6.9. Deberían preverse equipos de monitorización radiológica aptos para medir la radiación gamma así como los neutrones rápidos y térmicos emitidos por un contenedor, cuando así corresponda. Deberían preverse medios para medir la contaminación superficial del contenedor y asegurarse del cumplimiento de las normas de transporte antes de que el contenedor abandone la central.

6.10. Si el combustible se devuelve a la piscina desde el almacén en seco, se debería refrigerar adecuadamente el contenedor y el combustible.

OPERACIONES DE MANIPULACIÓN

6.11. El diseño del equipo de manipulación de los contenedores debería ser tal que dé la seguridad de que se cumplen o pueden cumplirse los requisitos y las recomendaciones aplicables formulados en las refs. [2, 7]. El diseño debería prever:

- la realización de todas las operaciones de manipulación de combustible planeadas y previstas;
- la realización de las operaciones apropiadas de inspección, pruebas y mantenimiento;
- la realización de las interacciones necesarias con otras operaciones;

— la preparación de instrucciones escritas si fuera necesario.

6.12. Debería tenerse especial cuidado en asegurarse, por medios administrativos, de que no se cargue combustible que no haya sido refrigerado durante un período suficiente de tiempo, ni se cargue en un contenedor una combinación no permitida de conjuntos combustibles. También debería tenerse cuidado de confirmar que la remesa en cuestión se ajuste a los requisitos pertinentes.

7. MANIPULACIÓN DEL COMBUSTIBLE EN EMPLAZAMIENTOS CON VARIOS REACTORES

7.1. En los emplazamientos donde haya más de un reactor, las instalaciones de manipulación y almacenamiento del combustible pueden ser específicas para cada reactor, o compartidas por varios reactores. En cualquier caso, se deberían seguir las recomendaciones de las secciones precedentes.

7.2. Si se precisa el transporte de algún combustible o componente entre instalaciones, debería hacerse en contenedores diseñados apropiadamente al respecto o por otros medios, según sea necesario, que garanticen en todo momento la subcriticidad y la eliminación de calor, así como la reducción al mínimo de la exposición del personal de la central y público en general a la radiación y la contaminación radiactiva. Además, deberían preverse medios de protección contra daños mecánicos durante la manipulación en los distintos reactores o unidades que expidan y reciban los componentes, y durante el transporte.

7.3. En el caso de unidades que compartan una misma instalación, la capacidad de almacenamiento de combustible no tendría que incrementarse necesariamente de forma proporcional, al número de unidades. Al determinar la capacidad que ha de preverse deberían tenerse en cuenta ciertos factores, como el tiempo durante el que se va a necesitar el almacenamiento y el ritmo de recarga de cada unidad.

7.4. En algunas centrales, se utiliza la misma máquina o máquinas de recarga, o partes de éstas, para más de un reactor; en otras centrales, las máquinas de recarga están vinculadas a reactores concretos y existen medios comunes de

transporte a las zonas de almacenamiento compartidas. Cuando se utilicen los mismos equipos para más de un reactor, debería demostrarse que no sufre menoscabo la capacidad de cumplir los requisitos particulares de cada unidad, y que ningún fallo ocurrido en una unidad afectará a la seguridad de cualquiera de las otras unidades.

8. GARANTÍA DE CALIDAD Y DOCUMENTACIÓN

GARANTÍA DE CALIDAD

8.1. El diseño y los materiales de los elementos importantes para la seguridad deberían verificarse de conformidad con los requisitos y las recomendaciones de la ref. [6].

8.2. Las especificaciones de diseño y los análisis de todos los equipos, así como sus datos reales conforme a obra, deberían documentarse de modo que se cumplan los requisitos de la ref. [6]. La documentación debería ser accesible para el explotador.

IDENTIFICACIÓN, UBICACIÓN Y MOVIMIENTO DE CONJUNTOS COMBUSTIBLES Y OTROS COMPONENTES DEL NÚCLEO

8.3. El diseño de todos los equipos de manipulación y almacenamiento del combustible debería prever las características necesarias para verificar los registros sobre:

- el número e identificación de los conjuntos combustibles y otros componentes del núcleo;
- la ubicación de cada elemento combustible o cada componente del núcleo.

8.4. Las características de identificación deberían ser tan duraderas que conserven su efectividad durante los procesos de manipulación y operación.

REFERENCIAS

- [1] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Seguridad de las centrales nucleares: Diseño, Colección de Normas de Seguridad N° NS-R-1, OIEA, Viena (2004).
- [2] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Design of Spent Fuel Storage Facilities, Colección Seguridad N° 116, OIEA, Viena (1994).
- [3] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Operation of Spent Fuel Storage Facilities, Colección Seguridad N° 117, OIEA, Viena (1994).
- [4] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Safety Assessment for Spent Fuel Storage Facilities Colección Seguridad N° 118, OIEA, Viena (1995).
- [5] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación, Colección Seguridad N° 115, OIEA, Viena (1997).
- [6] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Quality Assurance for Safety in Nuclear Power Plants and other Nuclear Installations, Colección Seguridad N° 50-C/SG-Q, OIEA, Viena (1996).
- [7] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Seguridad de las centrales nucleares: Explotación, Colección de Normas de Seguridad N° NS-R-2, OIEA, Viena (2004).
- [8] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Site Evaluation for Nuclear Facilities, Colección de Normas de Seguridad N° NS-R-3, OIEA, Viena (2003).
- [9] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, External Human Induced Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants, Colección de Normas de Seguridad N° NS-G-3.1, OIEA, Viena (2002).
- [10] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, External Events Excluding Earthquakes in the Design of Nuclear Power Plants, Colección de Normas de Seguridad N° NS-G-1.5, OIEA, Viena (2003).
- [11] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Seismic Design and Qualification for Nuclear Power Plants, Colección de Normas de Seguridad N° NS-G-1.6, OIEA, Viena (2003).
- [12] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos, Edición de 1996 (Revisada), Colección de Normas de Seguridad N°. TS-R-1 (ST-1 Revisada), OIEA, Viena (2002).
- [13] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Advisory Material for the OIEA Regulations for the Safe Transport of Nuclear Material, Safety Standards Series No. TS-G-1.1 (ST-2), OIEA, Viena (2002).

Anexo

DIAGRAMAS DE PROCESO EN SISTEMAS TÍPICOS DE MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO DEL COMBUSTIBLE IRRADIADO

A-1. Las figuras A-1 hasta A-4 muestran los diagramas de proceso en sistemas típicos de manipulación y almacenamiento del combustible irradiado de varios tipos de reactor.

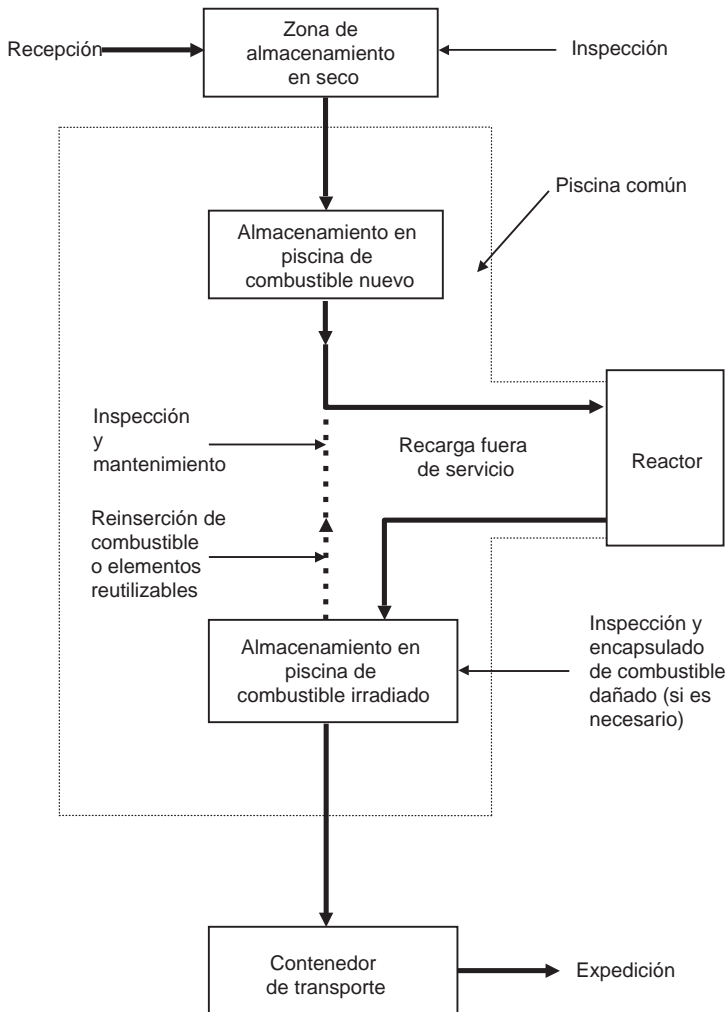


FIG. A-1. Diagrama de proceso en un sistema típico de manipulación y almacenamiento del combustible irradiado de un reactor de agua ligera.

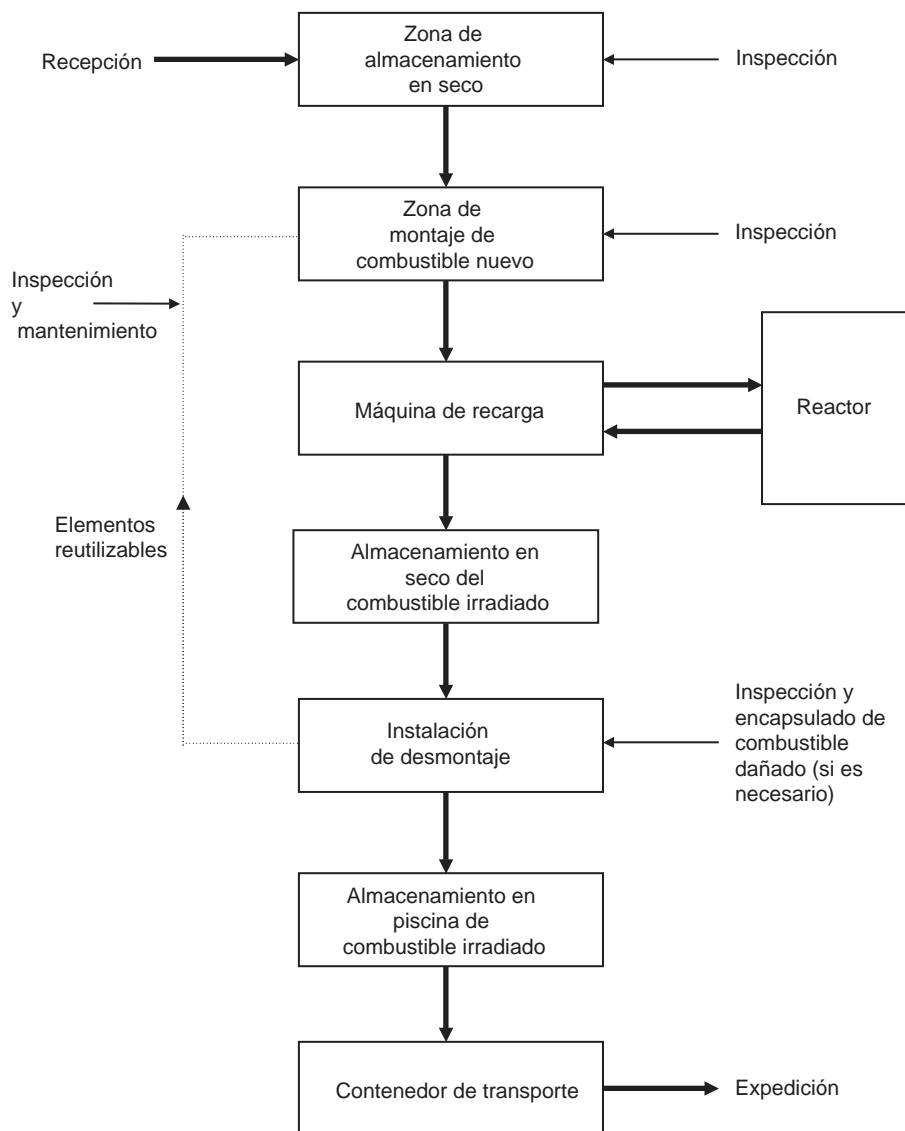


FIG. A-2. Diagrama de proceso en un sistema típico de manipulación y almacenamiento del combustible irradiado de un reactor refrigerado por gas.

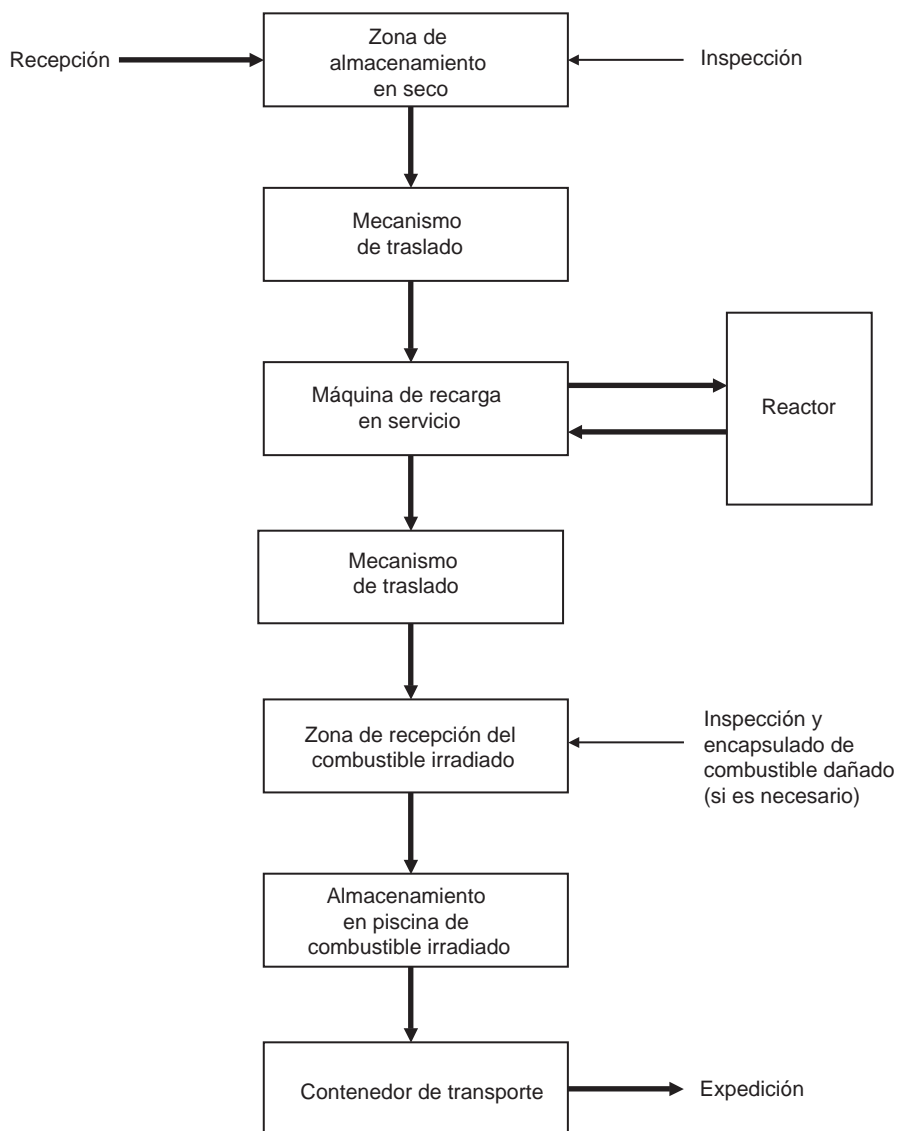


FIG. A-3. Diagrama de proceso en un sistema típico de manipulación y almacenamiento del combustible irradiado de un reactor de tubos a presión.

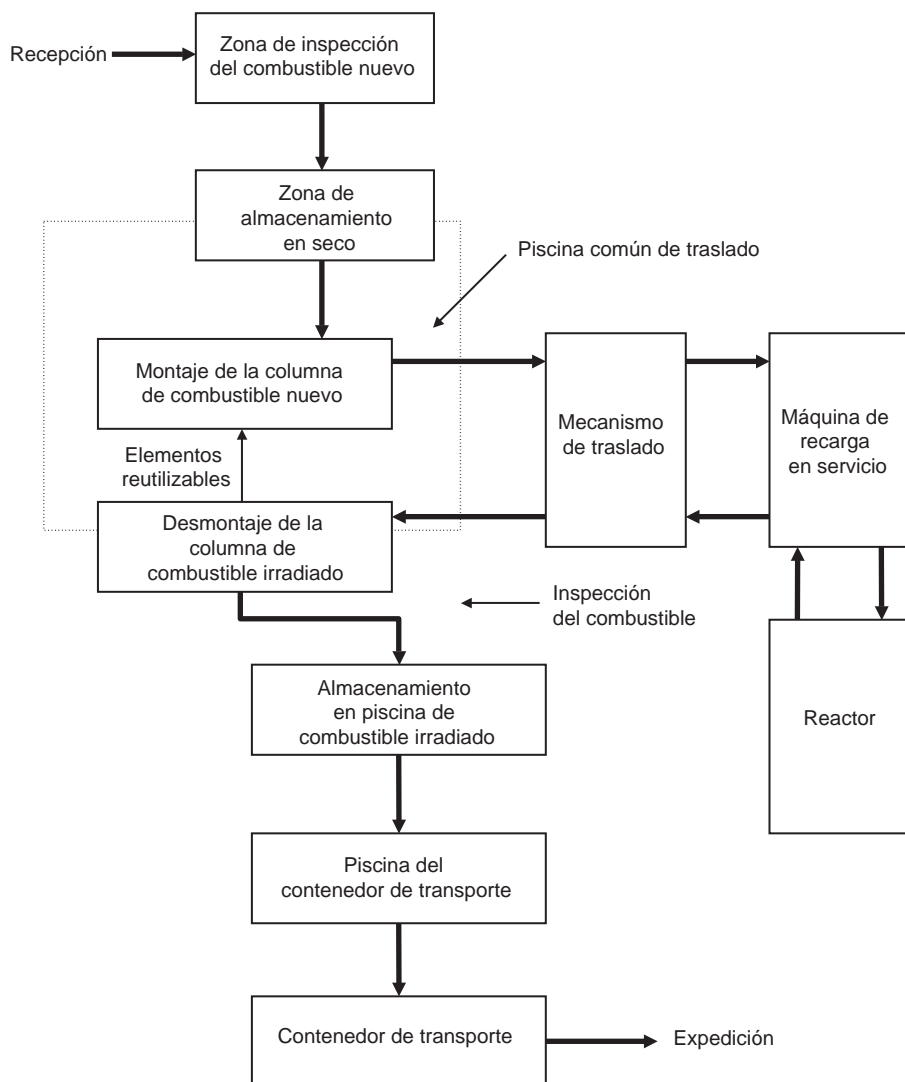


FIG. A-4. Diagrama de proceso en un sistema típico de manipulación y almacenamiento del combustible irradiado de un reactor de agua pesada.

COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y EXAMEN

Aly, A.M.M.	Atomic Energy Control Board, Canadá
Bencová, A.	Nuclear Regulatory Authority, República Eslovaca
Bigas, J.	Czech Power Enterprises (CEZ), Temelin nuclear power plant, República Checa
Colonna d'Istria, L.	Electricité de France, Francia
Cowley, J.S.	Consultor, Reino Unido
Dobson, A.	British Nuclear Fuels plc, Reino Unido
Eveillard, P.	Electricité de France, Francia
Ewing, B.	Atomic Energy Control Board, Canadá
Gasparini, M.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Jit, I.	Nuclear Power Corporation, India
Kapitanov, A.	Federal Nuclear and Radiation Safety Authority of Russia, Federación de Rusia
Kienle, F.	Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW), Alemania
Kim, N. Ch.	Instituto de Seguridad Nuclear de la República de Corea
Kmosena, J.	Slovenske Elektrarne, República Eslovaca
Knecht, K.	Siemens AG, KWU, BVB5, Alemania
Král, L.	Temelin nuclear power plant, República Checa
Kuba, S.	Dukovany nuclear power plant, República Checa
Leblanc, R.	Atomic Energy Control Board, Canadá
Lemoine, P.	Electricité de France, Francia

Makarchuk, T.	VNIPIEhT, Federación de Rusia
Markus, J.	SE Mochovce nuclear power plant, República Eslovaca
McBride, J.A.	Consultor, Estados Unidos de América
Mercier, J.P.	CEA/IPSN, Francia
Novo, M.	Central Nuclear Trillo 1, España
Ördögh, M.	ETV-EROTERV-RT, Hungría
Peyrouty, P.	IPSN/DES, Francia
Revel, P.	Framatome, Francia
Revilla, J.L.	Consejo de Seguridad Nuclear, España
Saegusa, T.	Central Research Institute of the Electric Power Industry, Japón
Sjöstrand, H.	Ringhals nuclear power plant, Suecia
Smith, M.	British Nuclear Fuels plc, Reino Unido
Takala, H.J.T.	Centro Finlandés de Seguridad Radiológica y Nuclear, Finlandia
Takáts, F.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Van Beginne, F.	Departement Nucléaire de Tractebel, Bélgica
Williams, R.F.	Williams Technical Associates, Inc., Estados Unidos de América

ÓRGANOS ENCARGADOS DE APROBAR LAS NORMAS DE SEGURIDAD

Se indican con un asterisco () los miembros corresponsales. Estos miembros reciben borradores para formular comentarios, así como otra documentación, pero, generalmente, no participan en las reuniones.*

Comisión sobre Normas de Seguridad

Alemania: Renneberg, W.; Argentina: Oliveira, A.; Brasil: Caubit da Silva, A.; Canadá: Pereira, J.K.; China: Zhao, C.; España: Azuara, J.A.; Santomá, L.; Estados Unidos de América: Travers, W.D.; Federación de Rusia: Vishnevskiy, Yu.G.; Francia: Gauvain, J.; Lacoste, A.-C.; India: Sukhatme, S.P.; Japón: Suda, N.; Reino Unido: Pape, R.; Williams, L.G. (Presidente); República de Corea: Eun, S.; Suecia: Holm, L.-E.; Suiza: Schmocker, U.; Ucrania: Gryschenko, V.; Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE: Shimomura, K.; Comisión Internacional de Protección Radiológica: Clarke, R.H.; OIEA: Karbassioun, A. (Coordinador).

Comité sobre Normas de Seguridad Nuclear

*Alemania: Feige, G.; Argentina: Sajaroff, P.; Australia: MacNab, D.; *Bielorrusia: Sudakou, I.; Bélgica: Govaerts, P.; Brasil: Salati de Almeida, I.P.; Bulgaria: Gantchev, T.; Canadá: Hawley, P.; China: Wang, J.; *Egipto: Hassib, G.; España: Mellado, I.; Estados Unidos de América: Newberry, S.; Federación de Rusia: Baklushin, R.P.; Finlandia: Reiman, L. (Presidente); Francia: Saint Raymond, P.; Hungría: Vöröss, L.; India: Sharma, S.K.; Irlanda: Hone, C.; Israel: Hirshfeld, H.; Italia: del Nero, G.; Japón: Yamamoto, T.; Lituania: Demcenko, M.; *México: Delgado Guardado, J.L.; Países Bajos: de Munk, P.; *Pakistán: Hashimi, J.A.; *Perú: Ramírez Quijada, R.; Reino Unido: Hall, A.; República Checa: Böhm, K.; República de Corea: Lee, J.-I.; Suecia: Jende, E.; Sudáfrica: Bester, P.J.; Suiza: Aeberli, W.; *Tailandia: Tanipanichskul, P.; Turquía: Alten, S.; Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE: Hrehor, M.; Comisión Europea: Schwartz, J.-C.; OIEA: Bevington, L. (Coordinador); Organización Internacional de Normalización: Nigon, J.L.*

Comité sobre Normas de Seguridad Radiológica

Alemania: Landfermann, H.; *Argentina:* Rojkind, R.H.A.; *Australia:* Mason, C. (Presidente); *Belarús:* Rydlevski, L.; *Bélgica:* Smeesters, P.; *Brasil:* Amaral, E.; *Canadá:* Utting, R.; *China:* Yang, H.; *Cuba:* Betancourt Hernández, A.; *Dinamarca:* Ulbak, K.; **Egipto:* Hanna, M.; *España:* Amor, I.; *Estados Unidos de América:* Paperiello, C.; *Federación de Rusia:* Kutkov, V.; *Finlandia:* Markkanen, M.; *Francia:* Piechowski, J.; *Hungría:* Koblinger, L.; *India:* Sharma, D.N.; *Irlanda:* McGarry, A.; *Israel:* Laichter, Y.; *Italia:* Sgrilli, E.; *Japón:* Yonehara, H.; **Madagascar:* Andriambololona, R.; **México:* Delgado Guardado, J.L.; *Noruega:* Saxebol, G.; *Países Bajos:* Zuur, C.; *Perú:* Medina Gironzini, E.; *Polonia:* Merta, A.; *Reino Unido:* Robinson, I.; *República Checa:* Drabova, D.; *República de Corea:* Kim, C.; *República Eslovaca:* Jurina, V.; *Sudáfrica:* Olivier, J.H.L.; *Suecia:* Hofvander, P.; *Moberg, L.*; *Suiza:* Pfeiffer, H.J.; **Tailandia:* Pongpat, P.; *Turquía:* Buyan, A.G.; *Ucrania:* Likhtarev, I.A.; *Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE:* Lazo, T.; *Asociación Internacional de Protección Radiológica:* Webb, G.; *Comisión Europea:* Janssens, A.; *Kaiser, S.*; *Comisión Internacional de Protección Radiológica:* Valentin, J.; *Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los Efectos de las Radiaciones Nucleares:* Gentner, N.; *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación:* Rigney, C.; *OIEA:* Bilbao, A.; *Organización Internacional de Normalización:* Perrin, M.; *Organización Internacional del Trabajo:* Niu, S.; *Organización Mundial de la Salud:* Kheifets, L.; *Organización Panamericana de la Salud:* Borrás, C.

Comité sobre Normas de Seguridad en el Transporte

Alemania: Rein, H.; *Argentina:* López Vietri, J.; *Australia:* Colgan, P.; **Belarús:* Zaitsev, S.; *Bélgica:* Cottens, E.; *Brasil:* Bruno, N.; *Bulgaria:* Bakalova, A.; *Canadá:* Viglasky, T.; *China:* Pu, Y.; **Dinamarca:* Hannibal, L.; **Egipto:* El-Shinawy, R.M.K.; *España:* Zamora Martín, F.; *Estados Unidos de América:* Brach, W.E.; McGuire, R.; *Federación de Rusia:* Ershov, V.N.; *Francia:* Aguilar, J.; *Hungría:* Sáfár, J.; *India:* Nandakumar, A.N.; *Irlanda:* Duffy, J.; *Israel:* Koch, J.; *Italia:* Trivelloni, S.; *Japón:* Hamada, S.; *Noruega:* Hornkjøl, S.; *Países Bajos:* Van Halem, H.; **Perú:* Regalado Campaña, S.; *Reino Unido:* Young, C.N. (Presidente); *República de Corea:* Kwon, S.-G.; *Rumania:* Vieru, G.; *Suecia:* Pettersson, B.G.; *Sudáfrica:* Jutle, K.; *Suiza:* Knecht, B.; **Tailandia:* Jerachanchai, S.; *Turquía:* Köksal, M.E.; *Asociación Internacional del Transporte Aéreo:* Abouchaar, J.; *Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas:* Kervella, O.; *Comisión Europea:* Rossi, L.; *Federación Internacional de Asociaciones de Pilotos de Líneas Aéreas:* Tisdall, A.; *Instituto*

Mundial de Transporte Nuclear: Lesage, M.; *OIEA*: Pope, R.B.; *Organización de Aviación Civil Internacional*: Rooney, K.; *Organización Internacional de Normalización*: Malesys, P.; Kervella, O.; *Organización Marítima Internacional*: Rahim, I.

Comité sobre Normas de Seguridad de los Desechos

Alemania: von Dobschütz, P.; *Argentina*: Siraky, G.; *Australia*: Williams, G.; **Belarús*: Rozdyalovskaya, L.; *Bélgica*: Baekelandt, L. (Presidente); *Brasil*: Xavier, A.; **Bulgaria*: Simeonov, G.; *Canadá*: Ferch, R.; *China*: Fan, Z.; *Cuba*: Benítez, J.; **Dinamarca*: Øhlenschlaeger, M.; **Egipto*: Al Adham, K.; Al Sorogi, M.; *España*: O'Donnell, P.; *Estados Unidos de América*: Greeves, J.; Wallo, A.; *Federación de Rusia*: Poluektov, P.P.; *Finlandia*: Rukola, E.; *Francia*: Averous, J.; *Hungría*: Czoch, I.; *India*: Raj, K.; *Irlanda*: Pollard, D.; *Israel*: Avraham, D.; *Italia*: Dionisi, M.; *Japón*: Irie, K.; **Madagascar*: Andriambololona, R.; *México*: Maldonado, H.; **Noruega*: Sorlie, A.; *Países Bajos*: Selling, H.; *Pakistán*: Qureshi, K.; **Perú*: Gutiérrez, M.; *Reino Unido*: Wilson, C.; *República de Corea*: Sa, S.; *República Eslovaca*: Konecny, L.; *Sudáfrica*: Pather, T.; *Suecia*: Wingefors, S.; *Suiza*: Zurkinden, A.; **Tailandia*: Wangcharoenroong, B.; *Turquía*: Kahraman, A.; *Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE*: Riotte, H.; *Comisión Europea*: Taylor, D.; Webster, S.; *OIEA*: Hioki, K. (Coordinador); *Comisión Internacional de Protección Radiológica*: Valentin, J.; *Organización Internacional de Normalización*: Hutson, G.

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATOMÍCA
VIENA
ISBN 978-92-0-309108-4
ISSN 1020-5837