



Organismo Internacional de Energía Atómica

CIRCULAR INFORMATIVA

INF

INFCIRC/254/Rev.1/Part.1/Mod.2
Agosto de 1994

Distr. GENERAL

ESPAÑOL

Original: ESPAÑOL, FRANCES
e INGLES

COMUNICACIONES RECIBIDAS DE ESTADOS MIEMBROS RELATIVAS A
LAS DIRECTRICES PARA LA EXPORTACION DE TECNOLOGIA,
EQUIPO Y MATERIALES NUCLEARES

1. El Director General ha recibido notas verbales relativas a la exportación de tecnología, equipo y materiales nucleares de las siguientes Misiones Permanentes ante el Organismo Internacional de Energía Atómica: notas verbales de fecha de 1 de marzo de 1994 de las Misiones Permanentes de Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Bulgaria, Canadá, Dinamarca, España, Estados Unidos de América, Finlandia, Francia, Hungría, Italia, Japón, Países Bajos, Polonia, Portugal, República Checa, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte, Suecia y Suiza; y una nota verbal fecha del 12 de marzo de 1994 de la Misión Permanente de Rumania.
2. El objetivo de estas notas verbales es proporcionar más información sobre las políticas y prácticas de exportación nuclear de estos Gobiernos.
3. Atendiendo a los deseos expresados al final de cada nota verbal, el texto análogo de las notas verbales se adjunta en apéndice. En el Anexo se reproduce el Apéndice de estas notas verbales ("Anexo A: Directrices para las transferencias nucleares" y "Anexo B: Lista inicial citada en las directrices").

NOTA VERBAL

La Misión Permanente de [Estado Miembro] ante el Organismo Internacional de Energía Atómica saluda al Director General del Organismo Internacional de Energía Atómica y tiene el honor de hacer referencia a su o sus [precedente/s comunicación o comunicaciones pertinentes] relativa a la decisión del Gobierno de [Estado Miembro] de actuar en conformidad con las directrices para las transferencias nucleares publicadas originalmente como documento INFCIRC/254.

Los adelantos habidos en la tecnología nuclear han obligado a aclarar más y modificar ciertas partes de la lista inicial transcrita en el Anexo A y en el Anexo B de las Directrices publicadas en el documento INFCIRC/254/Rev.1/Parte 1.

Concretamente:

- La sección 5 del Anexo B del documento INFCIRC/254/Rev.1/Parte 1, relativa al equipo especialmente diseñado o preparado para la separación de isótopos del uranio, ha sido aclarada y enmendada.
- El Anexo A y el Anexo B del documento INFCIRC/254/Rev.1/Parte 1 han sido enmendados para incluir una nueva sección relativa a las plantas de conversión del uranio y equipo especialmente diseñado o preparado para esa conversión; y
- El punto 1.7 de la sección 1 del Anexo B del documento INFCIRC/254/Rev.1/Parte 1, relativo a las bombas del circuito primario de enfriamiento, ha sido enmendado.

En aras de la claridad se reproduce en el Apéndice el texto completo del Anexo A y del Anexo B modificados.

El Gobierno de [Estado Miembro] ha decidido actuar en conformidad con las directrices revisadas.

Al adoptar esta decisión, el Gobierno de [Estado Miembro] es plenamente consciente de la necesidad de favorecer el desarrollo económico evitando contribuir sea como fuere a los peligros de proliferación de las armas nucleares o de otros dispositivos explosivos nucleares, y de la necesidad de situar las garantías de no proliferación fuera de la esfera de la competencia comercial.

[El Gobierno de (Estado Miembro), en lo que respecta al comercio dentro de la Unión Europea, aplicará esta decisión teniendo en cuenta sus compromisos contraídos como Estado Miembro de la Unión^{1/}].

1/ Este párrafo se ha incluido solo en las cartas enviadas por los Gobiernos de Alemania, Bélgica, Dinamarca, España, Francia, Italia, Países Bajos, Portugal y Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte.

El Gobierno de [Estado Miembro] pide al Director General del Organismo Internacional de Energía Atómica que comunique el texto de esta nota y de sus Anexos a todos los Estados Miembros para su información.

La Misión Permanente de [Estado Miembro] aprovecha esta oportunidad para reiterar al Director General del Organismo Internacional de Energía Atómica la seguridad de su alta consideración.

ANEXO A

LISTA INICIAL CITADA EN LAS DIRECTRICES

PARTE A. MATERIALES Y EQUIPO

1. Materiales básicos y materiales fisiónables especiales

Según se define en el artículo XX del Estatuto del Organismo Internacional de Energía Atómica:

1.1. "Materiales básicos"

Se entiende por "materiales básicos" el uranio constituido por la mezcla de isótopos que contiene en su estado natural; el uranio en que la proporción de isótopo 235 es inferior a la normal; el torio; cualquiera de los elementos citados en forma de metal, aleación, compuesto químico o concentrado; cualquier otro material que contenga uno o más de los elementos citados en la concentración que la Junta de Gobernadores determine en su oportunidad; y los demás materiales que la Junta de Gobernadores determine en su oportunidad.

1.2. "Materiales fisiónables especiales"

i) Se entiende por "materiales fisiónables especiales" el plutonio 239; el uranio 233; el uranio enriquecido en los isótopos 235 o 233; cualquier material que contenga uno o varios de los elementos citados; y los demás materiales fisiónables que la Junta de Gobernadores determine en su oportunidad; no obstante, la expresión "materiales fisiónables especiales" no comprende los materiales básicos.

ii) Se entiende por "uranio enriquecido en los isótopos 235 o 233" el uranio que contiene los isótopos 235 o 233, o ambos, en tal cantidad que la relación entre la suma de las cantidades de estos isótopos y la de isótopo 238 sea mayor que la relación entre la cantidad de isótopo 235 y la de isótopo 238 en el uranio natural.

Ahora bien, para los fines de las presentes Directrices, los artículos especificados en el siguiente apartado a) y las exportaciones de materiales básicos o materiales fisiónables especiales efectuadas dentro de un mismo período de 12 meses a un mismo país destinatario en cantidades inferiores a los límites especificados en el siguiente apartado b) no deberán incluirse:

- a) Plutonio con una concentración isotópica de plutonio 238 superior al 80%;

Materiales fisiónables especiales que se utilicen en cantidades del orden del gramo o menores como componentes sensibles en instrumentos;
y

Materiales básicos que el Gobierno compruebe que van a utilizarse únicamente en actividades no nucleares, tales como la producción de aleaciones o de materiales cerámicos.

- b) **Materiales fisiónables especiales** 50 gramos efectivos;
 - Uranio natural 500 kilogramos;
 - Uranio empobrecido 1 000 kilogramos;
 - Torio 1 000 kilogramos.

2. **Materiales y equipo no nucleares**

La designación de las partidas de equipo y materiales no nucleares (que en adelante se denominarán "Lista inicial" en el presente documento) aprobada por el Gobierno es la que figura a continuación (considerándose como insignificantes, para todos los fines prácticos, las cantidades inferiores a los valores indicados en el Anexo B):

- 2.1. Reactores y equipo para los mismos (véase la Sección 1 del Anexo B);
- 2.2. Materiales no nucleares para reactores (véase la Sección 2 del Anexo B);
- 2.3. Plantas para la reelaboración de elementos combustibles irradiados, y equipo especialmente diseñado o preparado para dicha operación (véase la Sección 3 del Anexo B);
- 2.4. Plantas para la fabricación de elementos combustibles (véase la Sección 4 del Anexo B);
- 2.5. Plantas para la separación de isótopos del uranio y equipo, distinto de los instrumentos de análisis, especialmente diseñado o preparado para ello (véase la Sección 5 del Anexo B);
- 2.6. Plantas para la producción de agua pesada, deuterio y compuestos de deuterio y equipo especialmente diseñado o preparado para ello (véase la Sección 6 del Anexo B);
- 2.7. Plantas para la conversión del uranio y equipo especialmente diseñado o preparado para esta conversión (véase la Sección 7 del Anexo B).

**PARTE B. CRITERIOS COMUNES PARA LAS TRANSFERENCIAS DE TECNOLOGIA
A QUE SE REFIERE EL PARRAFO 6 DE LAS DIRECTRICES**

- 1) Se entiende por "tecnología" los datos técnicos en forma física que el país suministrador defina como importantes para el diseño, construcción, operación o mantenimiento de instalaciones de enriquecimiento, o de reelaboración, así como de producción de agua pesada, o de sus componentes críticos principales, pero con exclusión de los datos públicamente disponibles, por ejemplo, los que figuran en libros y

periódicos publicados o son internacionalmente asequibles sin que se haya restringido su difusión.

- 2) Se entiende por "componentes críticos principales":
- a) en el caso de una planta de separación de isótopos del tipo de centrifugación gaseosa: los conjuntos de la centrifugadora de gas, resistentes a la corrosión por el UF₆;
 - b) en el caso de una planta de separación de isótopos del tipo de difusión gaseosa: la barrera de difusión;
 - c) en el caso de una planta de separación de isótopos del tipo de separación por medio de toberas: las unidades de toberas;
 - d) en el caso de una planta de separación de isótopos de tipo vorticial: las unidades vorticiales.
- 3) Con respecto a las instalaciones a que se refiere el párrafo 6 de las directrices, cuyos componentes críticos principales no se describen en el anterior párrafo 2, si una nación suministradora transfiere dentro del total una parte significativa de los artículos que sean esenciales al funcionamiento de dicha instalación, junto con los conocimientos técnicos para la construcción y funcionamiento de dicha instalación, dicha transferencia debe considerarse como transferencia de "instalaciones o componentes críticos principales de las mismas".
- 4) Las definiciones de los párrafos anteriores se dan únicamente a los efectos del párrafo 6 de las directrices y de esta Parte B, y difieren de las aplicables a la Parte A de esta "lista inicial", que no debe considerarse limitada por dicha definición.
- 5) A los efectos de la aplicación del párrafo 6 de las directrices, las siguientes instalaciones se considerarán como "del mismo tipo (es decir, si su diseño, construcción o funcionamiento se basan en procesos físicos o químicos idénticos o similares)":

Quando la tecnología transferida permite la construcción en el Estado receptor de una instalación del tipo siguiente, o de componentes críticos principales de la misma:

Las instalaciones siguientes se considerarán instalaciones del mismo tipo:

- a) una planta de separación de isótopos por difusión gaseosa cualquier otra planta de separación de isótopos que utilice el proceso de difusión gaseosa.
- b) una planta de separación de isótopos por centrifugación gaseosa cualquier otra planta de separación de isótopos que utilice el proceso de centrifugación gaseosa.

- | | |
|---|--|
| c) una planta de separación de isótopos por medio de toberas | cualquier otra planta de separación de isótopos que utilice el proceso de toberas |
| d) una planta de separación de isótopos del tipo vorticial | cualquier otra planta de separación de isótopos que utilice el proceso vorticial. |
| e) una planta de reelaboración de combustible que utilice el proceso de extracción por solvente . . | cualquier otra planta de reelaboración de combustible que utilice el proceso de extracción por solvente. |
| f) una planta de agua pesada que utilice el proceso de intercambio | cualquier otra planta de agua pesada que utilice un proceso de intercambio. |
| g) una planta de agua pesada que utilice el proceso electrolítico | cualquier otra planta de agua pesada que utilice el proceso electrolítico. |
| h) una planta de agua pesada que utilice el proceso de destilación de hidrógeno | cualquier otra planta de agua pesada que utilice el proceso de destilación de hidrógeno. |

Nota: En el caso de las instalaciones de reelaboración, enriquecimiento y de agua pesada, cuyo diseño, construcción o funcionamiento se basen en procesos físicos o químicos distintos de los indicados anteriormente, se aplicará un método similar para definir las instalaciones "del mismo tipo", pudiendo surgir la necesidad de definir los componentes críticos principales de dichas instalaciones.

- 6) La referencia en el apartado b) del párrafo 6 de las directrices a "cualesquiera instalaciones del mismo tipo construidas durante un período aprobado en el país receptor" se entiende que es de aplicación a aquellas instalaciones (o componentes críticos principales de las mismas), cuya entrada en funcionamiento comienza dentro de un período de 20 años por lo menos a partir de la fecha de la entrada en funcionamiento de: 1) una instalación que ha sido transferida o que contiene componentes críticos principales, o de 2) una instalación del mismo tipo construida después de la transferencia de tecnología. Se entiende que durante dicho período existirá la presunción concluyente de que toda instalación del mismo tipo ha utilizado tecnología transferida. El período convenido no está calculado para limitar la duración de las salvaguardias impuestas o la duración del derecho a considerar las instalaciones como instalaciones en construcción o en funcionamiento a base de tecnología transferida o mediante la utilización de tecnología transferida de conformidad con el párrafo 6 b) 2) de las directrices.

ANEXO B

ACLARACIONES RELATIVAS A ARTICULOS QUE FIGURAN EN LA LISTA INICIAL

(Conforme a la sección 2 de la Parte A del Anexo A)

1. Reactores y equipo para los mismos

1.1. Reactores nucleares completos

Reactores nucleares capaces de funcionar de manera que se pueda mantener y controlar una reacción de fisión en cadena autosostenida, excluidos los reactores de energía nula, quedando definidos estos últimos como aquellos reactores con un índice teórico máximo de producción de plutonio no superior a 100 gramos por año.

NOTA EXPLICATIVA

Un "reactor nuclear" comprende fundamentalmente todos los dispositivos que se encuentran en el interior de la vasija del reactor o que están conectados directamente con ella, el equipo que regula el nivel de potencia en el núcleo, y los componentes que normalmente contienen el refrigerante primario del núcleo del reactor o que están directamente en contacto con dicho refrigerante o lo regulan.

No se pretende excluir a los reactores que podrían razonablemente ser susceptibles de modificación para producir cantidades significativamente superiores a 100 gramos de plutonio al año. Los reactores diseñados para funcionar en régimen continuo a niveles significativos de potencia no se considerarán como "reactores de energía nula" cualquiera que sea su capacidad de producción de plutonio.

EXPORTACIONES

La exportación del conjunto completo de artículos importantes comprendidos dentro de este concepto tendrá lugar únicamente de conformidad con los procedimientos expuestos en las Directrices. Los diversos artículos comprendidos dentro de este concepto funcionalmente definido que habrán de exportarse únicamente de conformidad con los procedimientos expuestos en las Directrices se enumeran en los párrafos 1.2. a 1.7. El Gobierno se reserva el derecho de aplicar los procedimientos expuestos en las Directrices a otros artículos de equipo comprendidos dentro de este concepto funcionalmente definido.

1.2. Vasijas de presión de los reactores

Vasijas metálicas, bien como unidades completas o bien en forma de piezas importantes fabricadas en taller para las mismas, que estén especialmente diseñadas o preparadas para contener el núcleo de un reactor nuclear conforme se define en el anterior párrafo 1.1. y sean capaces de resistir la presión de trabajo del refrigerante primario.

NOTA EXPLICATIVA

Una placa que recubre la parte superior de una vasija de presión de un reactor queda comprendida en el concepto indicado en el párrafo 1.2. como pieza importante fabricada en taller para una vasija de presión.

Los dispositivos interiores del reactor (por ejemplo: columnas y placas de apoyo del núcleo y otros dispositivos interiores de la vasija, tubos-guía para las barras de control, blindajes térmicos, placas deflectoras, placas para el reticulado del núcleo, placas difusoras, etc.) los suministra normalmente el propio proveedor del reactor. En algunos casos, determinados componentes auxiliares internos quedan incluidos en la fabricación de la vasija de presión. Estos componentes son de importancia suficientemente crítica para la seguridad y la fiabilidad del funcionamiento del reactor (y, por lo tanto, para la garantía y responsabilidad del proveedor de éste) de manera que su suministro al margen del contrato básico para la entrega del reactor propiamente dicho no constituiría una práctica usual. Por lo tanto, aunque el suministro por separado de estos componentes únicos especialmente diseñados y preparados, de importancia crítica, de gran tamaño y elevado costo no habría necesariamente de considerarse como una operación fuera del ámbito de la prevista respecto de este concepto, tal modalidad de suministro se considera improbable.

1.3. Máquinas para la carga y descarga del combustible en los reactores

Equipo de manipulación especialmente diseñado o preparado para insertar o extraer el combustible en un reactor nuclear conforme se le define en el anterior párrafo 1.1., con el que sea posible cargar el combustible con el reactor en funcionamiento o que incluya dispositivos de posicionamiento o alineación técnicamente complejos que permitan realizar operaciones complicadas de carga de combustible con el reactor parado tales como aquéllas en las que normalmente no es posible observar directamente el combustible o acceder a éste.

1.4. Barras de control para reactores

Barras especialmente diseñadas o preparadas para el control de la velocidad de reacción en un reactor nuclear conforme se definen en el anterior párrafo 1.1.

NOTA EXPLICATIVA

Esta partida de equipo comprende, además del absorbente de neutrones, las estructuras de apoyo o suspensión del absorbente si se suministran por separado.

1.5. Tubos de presión para reactores

Tubos especialmente diseñados o preparados para contener los elementos combustibles y el refrigerante primario en un reactor nuclear conforme se le define en el anterior párrafo 1.1., a una presión de trabajo superior a 5,1 MPa (740 psi).

1.6. Tubos de circonio

Circonio metálico y aleaciones de circonio en forma de tubos o conjuntos de tubos, en cantidades que excedan de 500 kg en cualquier período de 12 meses, especialmente diseñados o preparados para su utilización en un reactor nuclear conforme se definen en el anterior párrafo 1.1., y en los que la razón hafnio/circonio sea inferior a 1 : 500 partes en peso.

1.7. Bombas del refrigerante primario

Bombas especialmente diseñadas o preparadas para hacer circular el refrigerante primario en reactores nucleares conforme se definen en el anterior párrafo 1.1.

NOTA EXPLICATIVA

Las bombas especialmente diseñadas o preparadas pueden comprender sistemas complejos de estanqueidad sencilla o múltiple para impedir las fugas del refrigerante primario, bombas de rotor blindado y bombas con sistemas de masa inercial. Esta definición abarca las bombas conformes a la norma NC-1 o normas equivalentes.

2. Materiales no nucleares para reactores

2.1. Deuterio y agua pesada

Deuterio, agua pesada (óxido de deuterio) y cualquier otro compuesto de deuterio en el que la razón deuterio/átomos de hidrógeno exceda de 1:5 000, para su utilización en un reactor nuclear, conforme se definen en el anterior párrafo 1.1., en cantidades que excedan de 200 kg de átomos de deuterio durante un período de 12 meses, sea cual fuere el país receptor.

2.2. Grafito de pureza nuclear

Grafito con un nivel de pureza superior a 5 partes por millón de boro equivalente y con una densidad superior a 1,50 g/cm³, en cantidades que excedan de 3.10⁴ kg (30 toneladas métricas) durante un período de 12 meses, sea cual fuere el país receptor.

3. Plantas de reelaboración de elementos combustibles irradiados, y equipo especialmente diseñado o preparado para dicha operación

NOTA INTRODUCTORIA

En la reelaboración del combustible nuclear irradiado, el plutonio y el uranio se separan de los productos de fisión y de otros elementos transuránicos de elevada actividad. Esta separación puede lograrse mediante diferentes procesos técnicos. Sin embargo, con el tiempo el proceso Purex ha pasado a ser el más aceptado y utilizado. Entraña este proceso la disolución del combustible nuclear irradiado en ácido nítrico, seguida de la separación del uranio, el plutonio y los productos de fisión mediante la extracción con solvente empleando una mezcla de fosfato de tributilo en un diluyente orgánico.

En las instalaciones Purex las operaciones del proceso son similares: troceado de los elementos combustibles irradiados, disolución del combustible, extracción por solvente y almacenamiento de las soluciones obtenidas. Puede haber asimismo equipo para otras operaciones, como la desnitrificación térmica del nitrato de uranio, la conversión del nitrato de plutonio en óxido o metal, y el tratamiento de las soluciones de productos de fisión para darles una forma que se preste al almacenamiento o a la evacuación a largo plazo. No obstante, el tipo y la configuración específicos del equipo destinado a estas operaciones pueden diferir de una instalación Purex a otra por varias razones, en particular el tipo y cantidad del combustible nuclear irradiado a reelaborar y el destino que se quiera dar a los materiales recuperados, además de las consideraciones de seguridad y de mantenimiento seguidas en el diseño de cada instalación.

Una "planta para la reelaboración de elementos combustibles irradiados" abarca el equipo y los componentes que normalmente están en contacto directo con las principales corrientes de tratamiento de los materiales nucleares y productos de fisión y las controlan directamente.

Estos procesos, incluidos los sistemas completos para la conversión del plutonio y la producción de plutonio metálico, pueden identificarse mediante las medidas tomadas para evitar la criticidad (por ejemplo, por geometría), la exposición a las radiaciones (por ejemplo mediante el blindaje) y los riesgos de toxicidad (por ejemplo, por contención).

EXPORTACIONES

La exportación del conjunto completo de artículos importantes comprendidos dentro de estos límites tendrá lugar únicamente de conformidad con los procedimientos expuestos en las Directrices.

Los artículos que se consideran incluidos en la frase "y equipo especialmente diseñado o preparado" para la reelaboración de elementos combustibles irradiados comprenden:

3.1. Troceadores de elementos combustibles irradiados

NOTA INTRODUCTORIA

Estos troceadores rompen la vaina del elemento combustible para exponer a la disolución el material nuclear irradiado. Para esta operación suelen emplearse cizallas metálicas de diseño especial, aunque puede utilizarse equipo avanzado, como los láser, por ejemplo.

Troceadores teleaccionados especialmente diseñados o preparados para su utilización en una planta de reelaboración conforme se describe anteriormente y destinados al troceo, corte o cizallamiento de conjuntos, haces o varillas de combustible nuclear irradiado.

3.2. Recipientes de disolución

NOTA INTRODUCTORIA

Estos recipientes suelen recibir el combustible agotado troceado. En estos recipientes, a prueba de criticidad, el material nuclear irradiado se disuelve en ácido nítrico, y los fragmentos de vainas remanentes se eliminan de la corriente del proceso.

Tanques críticamente seguros (por ejemplo, tanques de pequeño diámetro, anulares o planos) especialmente diseñados o preparados para su utilización en una planta de reelaboración conforme se describen anteriormente, destinados a la disolución del combustible nuclear irradiado, capaces de resistir a líquidos a alta temperatura y muy corrosivos, y que pueden ser teleaccionados para su carga y mantenimiento.

3.3. Extractores y equipo de extracción por solvente

NOTA INTRODUCTORIA

Estos extractores reciben la solución de combustible irradiado proveniente de los recipientes de lixiviación y también la solución orgánica que separa el uranio, el plutonio y los productos de fisión. El equipo para la extracción por solvente suele diseñarse para satisfacer parámetros de funcionamiento rigurosos, tales como prolongada vida útil sin necesidad de mantenimiento, o facilidad de sustitución, sencillez de funcionamiento y de regulación, y flexibilidad frente a las variaciones de las condiciones del proceso.

Extractores por solvente especialmente diseñados o preparados, por ejemplo, las columnas pulsantes o de relleno, mezcladores-sedimentadores, o extractores centrífugos para el empleo en una planta de reelaboración de combustible irradiado. Los extractores por solvente

deben ser resistentes a la acción corrosiva del ácido nítrico. Estos extractores suelen fabricarse con arreglo a normas sumamente estrictas (en particular, técnicas especiales de soldadura, inspección, control de calidad y garantía de calidad) con aceros inoxidable al carbono, titanio, circonio u otros materiales de alta calidad.

3.4. Recipientes de recogida o almacenamiento químico

NOTA INTRODUCTORIA

En la etapa de extracción por solvente se obtienen tres flujos principales. Para el tratamiento ulterior de estos tres flujos se emplean recipientes de recogida o almacenamiento, de la manera siguiente:

- a) La solución de nitrato de uranio puro se concentra por evaporación y se convierte en óxido de uranio por desnitrificación. Este óxido se reutiliza en el ciclo del combustible nuclear.
- b) La solución de productos de fisión de actividad muy elevada suele concentrarse por evaporación y almacenarse como concentrado líquido. Este concentrado puede luego ser evaporado y convertido en una forma adecuada para el almacenamiento o la evacuación.
- c) La solución de nitrato de plutonio puro se concentra y se almacena antes de pasar a etapas ulteriores del proceso. En particular, los recipientes de recogida o almacenamiento de las soluciones de plutonio están diseñados para evitar problemas de criticidad resultantes de cambios en la concentración y en la forma del flujo.

Recipientes de recogida o de almacenamiento especialmente diseñados o preparados para su utilización en plantas de reelaboración de combustible irradiado. Los recipientes de recogida o almacenamiento deben ser resistentes a la acción corrosiva del ácido nítrico. Suelen construirse con materiales tales como acero inoxidable bajo en carbono, titanio, circonio, u otros materiales de alta calidad. Los recipientes de recogida o almacenamiento pueden diseñarse para la manipulación y el mantenimiento por control remoto, y pueden tener las siguientes características para el control de la criticidad nuclear:

- 1) paredes o estructuras internas con un equivalente de boro de por lo menos el 2%, o bien
- 2) un diámetro máximo de 175 mm (7 pulgadas) en el caso de recipientes cilíndricos, o bien
- 3) un ancho máximo de 75 mm (3 pulgadas) en el caso de recipientes anulares o planos.

3.5. Sistema de conversión del nitrato de plutonio en óxido

NOTA INTRODUCTORIA

En la mayoría de las instalaciones de reelaboración, este proceso final entraña la conversión de la solución de nitrato de plutonio en dióxido de plutonio. Las operaciones principales de este proceso son las siguientes: almacenamiento y ajuste de la solución, precipitación y separación sólido/líquido, calcinación, manipulación del producto, ventilación, gestión de desechos y control del proceso.

Se trata de sistemas completos especialmente diseñados o preparados para la conversión del nitrato de plutonio en óxido de plutonio, especialmente adaptados para evitar la criticidad y los efectos de las radiaciones, y para minimizar los riesgos de toxicidad.

3.6. Sistema de conversión del óxido de plutonio en metal

NOTA INTRODUCTORIA

Este proceso, que puede asociarse a una instalación de reelaboración, entraña la fluoración del dióxido de plutonio, que suele efectuarse con ácido fluorhídrico sumamente corrosivo, para obtener fluoruro de plutonio, que luego se reduce empleando calcio metálico de gran pureza a fin de producir plutonio metálico y escoria de fluoruro de calcio. Las principales operaciones de este proceso son las siguientes: fluoración (por ejemplo, mediante equipo construido o revestido interiormente con un metal precioso), reducción (por ejemplo empleando crisoles de material cerámico), recuperación de escoria, manipulación del producto, ventilación, gestión de desechos y control del proceso.

Son sistemas completos especialmente diseñados o preparados para la producción de plutonio metálico, adaptados para evitar la criticidad y los efectos de las radiaciones, y de minimizar los riesgos de toxicidad.

4. Plantas de fabricación de elementos combustibles

Una "planta de fabricación de elementos combustibles" comprende:

- a) El equipo que normalmente está en contacto directo con la corriente de materiales nucleares o que se emplea directamente para el tratamiento o control de dicha corriente, o bien,
- b) El equipo empleado para envainar el combustible nuclear.

EXPORTACIONES

La exportación del conjunto completo de artículos destinados a las operaciones anteriormente indicadas tendrá lugar únicamente de conformidad con los procedimientos expuestos en las Directrices. El

Gobierno también tendrá en cuenta la aplicación de los procedimientos expuestos en las Directrices a artículos destinados a cualquiera de las antedichas operaciones, así como a otras operaciones de fabricación de combustible tales como la verificación de la integridad de las vainas o del dispositivo de cierre y el acabado del combustible envainado.

5. Plantas de separación de isótopos del uranio y equipo, distinto de los instrumentos de análisis, especialmente diseñado o preparado para esta actividad

Los artículos que se consideran incluidos en la frase "equipo, distinto de los instrumentos de análisis, especialmente diseñados o preparados" para la separación de isótopos del uranio comprenden:

5.1. Centrifugadoras de gas y conjuntos y componentes especialmente diseñados o preparados para su utilización en centrifugadoras de gas

NOTA INTRODUCTORIA

Una centrifugadora de gas consiste normalmente en un cilindro o cilindros de paredes delgadas, de un diámetro de 75 mm (3 pulgadas) a 400 mm (16 pulgadas), contenidos en un vacío y sometidos a un movimiento rotatorio que produce elevada velocidad periférica del orden de 300 m/s o más; el eje central del cilindro es vertical. A fin de conseguir una elevada velocidad de rotación, los materiales de construcción de los componentes rotatorios deben poseer una elevada razón resistencia/densidad, y el conjunto rotor, y por consiguiente sus componentes, deben fabricarse con tolerancias muy ajustadas con objeto de minimizar los desequilibrios. A diferencia de otras centrifugadoras, la de gas usada para el enriquecimiento del uranio se caracteriza por tener dentro de la cámara rotatoria una o varias pantallas rotatorias en forma de disco, tubos estacionarios para alimentar y extraer el UF₆ gaseoso, y tres canales separados por lo menos, dos de los cuales se hallan conectados a paletas que se extienden desde el eje del rotor hacia la periferia de la cámara del mismo. También contenidos en el vacío se encuentra un número de elementos importantes no rotatorios los que, aunque de diseño especial, no son difíciles de fabricar ni emplean materiales muy especiales. Sin embargo, una instalación de centrifugación necesita gran número de dichos componentes, de modo que las cantidades pueden constituir una importante indicación del uso a que se destinan.

5.1.1. Componentes rotatorios

a) Conjuntos rotores completos:

Cilindros de paredes delgadas, o un número de tales cilindros interconectados, construidos con uno o varios de los materiales de elevada razón resistencia/densidad descritos en la NOTA EXPLICATIVA de

esta sección. Cuando se hallan interconectados, los cilindros están unidos por fuelles flexibles o anillos según se describe en la Sección 5.1.1 c) infra. El rotor está provisto de una o varias pantallas internas y tapones en el extremo según se describe en la Sección 5.1.1 d) y e), en su forma final. Sin embargo, el conjunto completo se puede también entregar solo parcialmente montado.

b) Tubos rotores:

Cilindros de paredes delgadas especialmente diseñados o preparados, con su espesor de 12 mm (0,5 pulgadas) o menos, un diámetro de 75 mm (3 pulgadas) a 400 mm (16 pulgadas), fabricados con uno o varios de los materiales de elevada razón resistencia/densidad descritos en la NOTA EXPLICATIVA de esta sección.

c) Anillos o fuelles:

Componentes especialmente diseñados o preparados para reforzar localmente el tubo rotor o unir varios tubos rotores. Los fuelles son cilindros cortos de un espesor de pared de 3 mm (0,12 pulgadas) o menos, un diámetro de 75 mm (3 pulgadas) a 400 mm (16 pulgadas), de forma convolutiva, fabricados con uno de los materiales de elevada razón resistencia/densidad descritos en la NOTA EXPLICATIVA de esta sección.

d) Pantallas:

Componentes en forma de disco de 75 mm (3 pulgadas) a 400 mm (16 pulgadas) de diámetro especialmente diseñados o preparados para ser montados dentro del tubo rotor de la centrifugadora a fin de aislar la cámara de toma de la cámara principal de separación y, en algunos casos, de facilitar la circulación del UF_6 gaseoso dentro de la cámara principal de separación del tubo rotor; están fabricados con uno de los materiales de elevada razón resistencia/densidad descritos en la NOTA EXPLICATIVA de esta sección.

e) Tapones superiores/tapones inferiores:

Componentes en forma de disco de 75 mm (3 pulgadas) a 400 mm (16 pulgadas) de diámetro especialmente diseñados o preparados para ajustarse a los extremos del tubo rotor y contener así el UF_6 dentro de dicho tubo, y, en algunos casos, apoyar, retener o contener como una parte integrante un elemento de soporte superior (tapón superior) o sostener los elementos rotatorios del motor y del soporte inferior (tapón inferior); están fabricados con uno de los materiales de elevada razón resistencia/densidad descritos en la NOTA EXPLICATIVA de esta sección.

NOTA EXPLICATIVA

Los materiales usados para los componentes rotatorios de la centrifugadora son:

- a) Acero martensítico con una resistencia máxima a la tracción de $2,05 \cdot 10^9$ N/m² (300 000 psi) o más;
- b) Aleaciones de aluminio con una resistencia máxima a la tracción de $0,46 \cdot 10^9$ N/m² (67 000 psi) o más;
- c) Materiales filamentosos apropiados para su uso en estructuras compuestas y que poseen un módulo específico de $12,3 \cdot 10^6$ m o mayor, y una resistencia máxima a la tracción de $0,3 \cdot 10^6$ m o más (el "módulo específico" es el módulo de Young expresado en N/m² dividido por el peso específico expresado en N/m³; "Resistencia máxima a la tracción específica" es la resistencia máxima a la tracción expresada en N/m² dividida por el peso específico expresado en N/m³).

5.1.2. Componentes estáticos

- a) Soportes de suspensión magnética:

Conjuntos de suspensión especialmente diseñados o preparados consistentes en un electroimán anular suspendido dentro de una caja que contiene un medio amortiguador. La caja se fabrica con un material resistente al UF₆ (véase la NOTA EXPLICATIVA de la sección 5.2). El imán se acopla con una pieza polar o con un segundo imán montado en el tapón superior descrito en la sección 5.1.1 e). El imán puede tener forma anular con una relación inferior o igual a 1,6:1 entre el diámetro exterior y el interior. El imán puede presentar una permeabilidad inicial de 0,15 H/m (120 000 en unidades CGS) o más, o una remanencia de 98,5% o más, o un producto de energía de más de 80 kJ/m³ (10⁷ gauss-oersteds). Además de las propiedades usuales de los materiales, es requisito esencial que la desviación de los ejes magnéticos respecto de los geométricos no exceda de muy pequeñas tolerancias (menos de 0,1 mm o 0,004 pulgadas) y que la homogeneidad del material del imán sea muy elevada.

- b) Soportes amortiguadores:

Soportes especialmente diseñados o preparados que comprenden un conjunto pivote/copa montado en un amortiguador. El pivote es generalmente una barra de acero templado pulimentado con un extremo en forma de semiesfera y provista en el otro extremo de un medio de encaje en el tapón inferior descrito en la sección 5.1.1 e). Este pivote también puede tener un soporte hidrodinámico. La copa tiene la forma de una pastilla con indentación semiesférica en una de sus superficies. Esos dos componentes son suministrados a menudo separadamente del amortiguador.

- c) Bombas moleculares:

Cilindros especialmente diseñados o preparados con surcos helicoidales maquinados o extruidos y paredes interiores maquinadas. Las

dimensiones típicas son las siguientes: de 75 mm (3 pulgadas) a 400 mm (16 pulgadas) de diámetro interno, 10 mm (0,4 pulgadas) o más de espesor de pared y de longitud igual o mayor que el diámetro. Los surcos tienen generalmente sección rectangular y 2 mm (0,08 pulgadas) o más de profundidad.

d) Estatores de motores:

Estatores de forma anular especialmente diseñados o preparados para motores multifásicos de alta velocidad de corriente alterna por histéresis (o reluctancia) para su funcionamiento sincrónico en un vacío en la gama de frecuencias de 600-2 000 Hz y un intervalo de potencia de 50-1 000 VA. Los estatores consisten en embobinados multifásicos sobre un núcleo de hierro de pequeñas pérdidas compuesto de finas capas de un espesor típico de 2,0 mm (0,08 pulgadas) o menos.

e) Recipientes/cajas de centrifugadoras

Componentes especialmente diseñados o preparados para alojar un conjunto de tubos rotores de una centrifugadora de gas. La caja está formada por un cilindro rígido, siendo el espesor de la pared de hasta 30 mm (1,2 pulgadas), con los extremos maquinados con precisión para contener los soportes y con una o varias bridas para el montaje. Los extremos maquinados son paralelos entre sí y perpendiculares al eje longitudinal del cilindro con una desviación de 0,05 grados o menos. La caja puede ser también una estructura alveolar para contener varios tubos o rotores. Las cajas están construidas o revestidas con materiales resistentes a la corrosión por el UF_6 .

f) Paletas:

Tubos especialmente diseñados o preparados de hasta 12 mm (0,05 pulgadas) de diámetro interno para la extracción del UF_6 gaseoso del tubo rotor por acción de un tubo de Pitot (es decir, su abertura desemboca en el flujo de gas periférico situado dentro del tubo rotor, se obtiene por ejemplo doblando el extremo de un tubo dispuesto radialmente) y capaz de conectarse al sistema central de extracción de gas. Los tubos están fabricados o protegidos con materiales resistentes a la corrosión por el UF_6 .

5.2. Sistemas, equipo y componentes auxiliares especialmente diseñados o preparados para plantas de enriquecimiento por centrifugación gaseosa

NOTA INTRODUCTORIA

Los sistemas, equipo y componentes auxiliares de una planta de enriquecimiento por centrifugación gaseosa son los necesarios en una instalación para introducir el UF_6 en las centrifugadoras, conectar entre sí las centrifugadoras para que formen cascadas (o etapas) que conduzcan a valores progresivamente elevados de enriquecimiento y para extraer el "producto" y las "colas" del UF_6 de las centrifugadoras;

también se incluye en esta categoría el equipo necesario para propulsar las centrifugadoras y para el control de la maquinaria.

Normalmente, el UF_6 se evapora en su fase sólida con ayuda de autoclaves calientes y se distribuye en estado gaseoso a las centrifugadoras por medio de un colector tubular en cascada. El "producto" y las "colas" se introducen en un sistema a trampas frías (que funcionan a unos 203 K (-70° C)), donde se condensan antes de ser transferidas a recipientes apropiados para su transporte o almacenamiento. Como una planta de enriquecimiento consiste en muchos miles de centrifugadoras conectadas en cascada, hay también muchos kilómetros de tuberías con millares de soldaduras y una considerable repetición de montajes. El equipo, componentes y sistemas de tuberías deben fabricarse observando normas muy rigurosas de vacío y limpieza.

5.2.1. Sistemas de alimentación/extracción del producto y de las colas

Sistemas especialmente diseñados o preparados, en particular:

Autoclaves de alimentación (o estaciones) utilizados para introducir el UF_6 en las cascadas de centrifugadoras a presiones de hasta 100 kPa (15 psi) y a un caudal de 1 kg/h o más;

Desublimadores (o trampas frías) utilizados para extraer el UF_6 de las cascadas a una presión de hasta 3 kPa (0,5 psi). Los desublimadores pueden enfriarse hasta 203 K (-70° C) y calentarse hasta 343 K (70° C).

Estaciones para el "producto" y las "colas", utilizadas para transferir el UF_6 a contenedores.

Estos componentes, equipo y tuberías están enteramente fabricados o revestidos con materiales resistentes al UF_6 (véase la NOTA EXPLICATIVA de esta sección) y deben fabricarse observando normas muy rigurosas de vacío y limpieza.

5.2.2. Sistemas de tuberías y colectores

Sistemas de tuberías y colectores especialmente diseñados o preparados para manipular el UF_6 dentro de las centrifugadoras en cascada. Esta red de tuberías es normalmente del tipo de colector "triple" y cada centrifugadora se halla conectada a cada uno de los colectores. Por lo tanto, su configuración se repite considerablemente. Están fabricados por completo con materiales resistentes al UF_6 (véase la NOTA EXPLICATIVA de esta sección) y deben fabricarse observando normas muy rigurosas de vacío y limpieza.

5.2.3. Espectrómetros de masa para UF_6 /fuentes de iones

Espectrómetros de masa magnéticos o cuadripolares especialmente diseñados o preparados, capaces de tomar "en línea" de la corriente de

UF₆ gaseoso, muestras del material de alimentación, del producto o de las colas, y que posean todas las características siguientes:

1. Resolución unitaria para la unidad de masa atómica superior a 320;
2. Fuentes de iones fabricadas o revestidas con cromoníquel, metal monel o galvanoniquelado;
3. Fuentes de ionización por bombardeo electrónico;
4. Se hallan provistos de un sistema colector adaptado al análisis isotópico.

5.2.4. Transformadores de frecuencia

Transformadores de frecuencia (denominados también convertidores o invertidores) especialmente diseñados o preparados para alimentar los estatores de motores según se definen en la sección 5.1.2 d); o partes componentes y subconjuntos de tales transformadores de frecuencia que posean todas las características siguientes:

1. Salida multifásica de 600 a 2 000 Hz;
2. Elevada estabilidad (con control de frecuencia superior a 0,1%);
3. Baja distorsión armónica (menos de 2%);
4. Rendimiento superior a 80%.

NOTA EXPLICATIVA

Los elementos enumerados anteriormente se encuentran en contacto directo con el UF₆ gaseoso del proceso o controlan directamente las centrifugadoras y el paso del gas de una a otra y de una cascada a otra.

Entre los materiales resistentes a la corrosión por el UF₆ figuran el acero inoxidable, el aluminio, las aleaciones de aluminio, el níquel y las aleaciones que contengan 60% o más de níquel.

5.3. Conjuntos y componentes especialmente diseñados o preparados para su uso en el enriquecimiento por difusión gaseosa

NOTA INTRODUCTORIA

En el método de difusión gaseosa para la separación de los isótopos de uranio, la principal unidad tecnológica consiste en una barrera porosa especial para la difusión gaseosa, un intercambiador de calor para enfriar el gas (que ha sido calentado por el proceso de compresión), válvulas de estanqueidad y de control, y tuberías. Puesto que la tecnología de difusión gaseosa utiliza el hexafluoruro de uranio

(UF₆), todo el equipo, tuberías y superficies de instrumentos (que entran en contacto con el gas) deben fabricarse con materiales que permanecen estables al contacto con el UF₆. Una instalación de difusión gaseosa requiere determinado número de unidades de este tipo, de modo que dicho número puede proporcionar indicaciones importantes respecto del uso final.

5.3.1. Barreras de difusión gaseosa

- a) Filtros delgados y porosos, especialmente diseñados o preparados, cuyos poros tengan un diámetro del orden de los 100 a 1 000 Å (angströms), un espesor de 5 mm (0,2 pulgadas) o menos, y para aquellos de forma tubular, un diámetro de 25 mm (1 pulgada) o menos, fabricados con metales, polímeros o materiales cerámicos resistentes a la corrosión por el UF₆, y
- b) compuestos o polvos especialmente preparados para la fabricación de tales filtros. Estos compuestos y polvos incluyen el níquel o aleaciones que contengan un 60% o más de níquel, óxido de aluminio, o polímeros de hidrocarburos totalmente fluorados resistentes al UF₆, cuya pureza sea del 99,9% o más, y con un tamaño de partículas inferior a 10 micrómetros y una granulometría de alto grado de uniformidad, especialmente preparados para la fabricación de barreras de difusión gaseosa.

5.3.2. Cajas de difusores

Recipientes cilíndricos especialmente diseñados o preparados, herméticamente cerrados, con un diámetro superior a 300 mm (12 pulgadas) y una longitud superior a 900 mm (35 pulgadas), o recipientes rectangulares de dimensiones comparables, dotados de una conexión de entrada y dos conexiones de salida, todas éstas con un diámetro superior a 50 mm (2 pulgadas), para contener una barrera de difusión gaseosa, hecha o revestida con un metal resistente al UF₆ y diseñada para ser instalada en posición horizontal o vertical.

5.3.3. Compresores y sopladores de gas

Compresores axiales, centrífugos o impelentes, o sopladores de gas especialmente diseñados o preparados, con una capacidad de aspiración de 1 m³/min o más de UF₆, y una presión de descarga de hasta varios centenares de kPa (100 psi), diseñados para funcionar durante largo tiempo en contacto con el UF₆ gaseoso con o sin un motor eléctrico de potencia apropiada, así como conjuntos autónomos de compresión o soplado de gas. Estos compresores y sopladores de gas presentan una relación de compresión comprendida de entre 2:1 y 6:1 y están fabricados o revestidos con materiales resistentes al UF₆ gaseoso.

5.3.4. Obturadores para ejes de rotación

Obturadores de vacío especialmente diseñados o preparados, con conexiones selladas de entrada y de salida para asegurar la estanqueidad de los ejes que conectan los rotores de los compresores o de los sopladores de gas con los motores de propulsión para asegurar que el sistema disponga de un sellado fiable a fin de evitar la penetración de aire en la cámara interior del compresor o del soplador de gas llena de UF_6 . Normalmente tales obturadores están diseñados para una tasa de penetración de gas separador inferior a $1\ 000\ cm^3/min$ ($60\ pulgadas^3/min$).

5.3.5. Intercambiadores de calor para enfriamiento del UF_6

Intercambiadores de calor especialmente diseñados o preparados, fabricados o recubiertos con materiales resistentes al UF_6 (excepto el acero inoxidable) o con cobre o cualquier combinación de dichos metales, y concebidos para una tasa de variación de presión por pérdida inferior a $10\ Pa$ ($0,0015\ psi$) por hora para una diferencia de presión de $100\ kPa$ ($15\ psi$).

5.4. Sistemas, equipo y componentes auxiliares especialmente diseñados o preparados para su utilización en procesos de enriquecimiento por difusión gaseosa

NOTA INTRODUCTORIA

Los sistemas, equipo y componentes auxiliares de plantas de enriquecimiento por difusión gaseosa son los sistemas necesarios para introducir el UF_6 en los montajes de difusión gaseosa y unir entre sí cada montaje para formar cascadas (o etapas) que permitan el progresivo enriquecimiento y la extracción, de dichas cascadas, del "producto" y las "colas" de UF_6 . Debido al elevado carácter inercial de las cascadas de difusión, cualquier interrupción de su funcionamiento y especialmente su parada trae consigo graves consecuencias. Por lo tanto, el mantenimiento estricto y constante del vacío en todos los sistemas tecnológicos, la protección automática contra accidentes y una regulación automática muy precisa del flujo de gas revisten la mayor importancia en una planta de difusión gaseosa. Todo ello tiene por consecuencia la necesidad de equipar la planta con un gran número de sistemas especiales de medición, regulación y control.

Normalmente, el UF_6 se evapora en cilindros colocados dentro de autoclaves y se distribuye en forma gaseosa al punto de entrada por medio de colectores tubulares en cascada. Las corrientes gaseosas del "producto" y las "colas", procedentes de los puntos de salida, son conducidas por medio de colectores tubulares en cascada hacia trampas frías o hacia unidades de compresión, donde el UF_6 gaseoso es licueficado antes de ser introducido dentro de contenedores apropiados para su transporte o almacenamiento. Dado que una planta de enriquecimiento por difusión gaseosa se compone de un gran número de unidades de difusión

gaseosa dispuestas en cascadas, hay muchos kilómetros de tubos de alimentación en cascada con miles de soldaduras y un número considerable de repeticiones. El equipo, los componentes y las tuberías se fabrican observando normas muy rigurosas de vacío y limpieza.

5.4.1. Sistemas de alimentación/sistemas de extracción del producto y las colas

Sistemas especialmente diseñados o preparados, capaces de funcionar a presiones de 300 kPa (45 psi) o inferiores, que comprenden:

Autoclaves de alimentación (o sistemas) utilizados para introducir el UF_6 en la cascada de difusión gaseosa;

Desublimadores (trampas frías) utilizados para extraer el UF_6 de las cascadas de difusión;

Estaciones de licuefacción en las que el UF_6 gaseoso procedente de la cascada es comprimido y enfriado para obtener UF_6 líquido.

Estaciones del "producto" o las "colas" usadas para transferir el UF_6 a los contenedores.

5.4.2. Sistemas colectores

Tuberías y colectores especialmente diseñados o preparados para manipular el UF_6 dentro de las cascadas de difusión gaseosa. Normalmente, las tuberías forman parte del sistema colector doble en el que cada unidad está conectada a cada uno de los colectores.

5.4.3. Sistemas de vacío

- a) Grandaes distribuidores de vacío, colectores de vacío y bombas de vacío, especialmente diseñados o preparados, con una capacidad mínima de aspiración de $5 \text{ m}^3/\text{min}$ ($175 \text{ pies}^3/\text{min}$).
- b) Bombas de vacío especialmente diseñadas para funcionar en una atmósfera de UF_6 , fabricadas o revestidas con aluminio, níquel o aleaciones que contengan más del 60% de níquel. Dichas bombas pueden ser rotativas o impelentes, de desplazamiento; estar dotadas de juntas de fluorocarburo y tener fluidos especiales de trabajo.

5.4.4. Válvulas especiales de parada y control

Válvulas de fuelle de parada y de control, manuales o automáticas, especialmente diseñadas o preparadas, fabricadas con materiales

resistentes al UF_6 , con diámetros de 40 mm a 1 500 mm (1,5 a 59 pulgadas), para su instalación en los sistemas principal y auxiliares de plantas de enriquecimiento por difusión gaseosa.

5.4.5. Espectrómetros de masa para UF_6 /fuentes de iones

Espectrómetros de masa magnéticos o cuadripolares, especialmente diseñados o preparados, capaces de tomar "en línea" de flujos de UF_6 gaseoso muestras de material de alimentación, del producto o de las colas, y que posean todas las características siguientes:

1. Resolución unitaria para la unidad de masa atómica superior a 320;
2. Fuentes de iones fabricadas o revestidas con cromoníquel o metal monel o niqueladas;
3. Fuentes de ionización por bombardeo electrónico;
4. Presencia de un sistema colector adaptado al análisis isotópico.

NOTA EXPLICATIVA

Los artículos que se enumeran supra entran en contacto directo con el UF_6 gaseoso o controlan de manera directa el flujo dentro de la cascada. Todas las superficies que entran en contacto directo con el gas de trabajo están fabricadas o revestidas con materiales resistentes al UF_6 . Por lo que toca a las secciones relativas a los artículos para difusión gaseosa, entre los materiales resistentes al efecto corrosivo del UF_6 figuran el acero inoxidable, el aluminio, las aleaciones de aluminio, el óxido de aluminio, el níquel o las aleaciones que contienen el 60% o más de níquel, y los polímeros de hidrocarburos totalmente fluorados resistentes al UF_6 .

5.5. Sistemas, equipo y componentes especialmente diseñados o preparados para su utilización en plantas de enriquecimiento aerodinámico

NOTA INTRODUCTORIA

En los procesos de enriquecimiento aerodinámico, una mezcla de UF_6 gaseoso y de un gas ligero (hidrógeno o helio) después de ser comprimida se hace pasar a través de elementos de separación en los que tiene lugar la separación isotópica por generación de elevadas fuerzas centrífugas en una pared curva. Se han desarrollado con éxito dos procesos de este tipo: el proceso de toberas y el de tubos vorticiales. En ambos procesos los principales componentes de la etapa de separación comprenden recipientes cilíndricos que contienen los elementos especiales de separación (toberas o tubos vorticiales), compresores de gas e intercambiadores de calor para eliminar el calor de compresión. Una planta aerodinámica requiere varias de estas etapas, de modo que las cantidades pueden facilitar una indicación importante acerca

del uso final. Como los procesos aerodinámicos emplean UF_6 , todo el equipo, tuberías y superficies de instrumentos (que entran en contacto con el gas) deben estar contruidos con materiales que permanezcan estables en contacto con el UF_6 .

NOTA EXPLICATIVA

Los artículos enumerados en esta sección entran en contacto directo con el UF_6 gaseoso o controlan directamente el flujo en la cascada. Todas las superficies que entran en contacto con el gas del proceso están totalmente fabricadas o protegidas con materiales resistentes al UF_6 . A los fines de la sección relativa a los artículos de enriquecimiento aerodinámico, los materiales resistentes a la corrosión por el UF_6 comprenden el cobre, el acero inoxidable, el aluminio, aleaciones de aluminio, níquel o aleaciones que contienen el 60% o más de níquel y polímeros de hidrocarburos totalmente fluorados resistentes al UF_6 .

5.5.1. Toberas de separación

Toberas de separación y sus conjuntos especialmente diseñados o preparados. Las toberas de separación están formadas por canales curvos, con una hendidura, y un radio de curvatura inferior a 1 mm (normalmente comprendido entre 0,1 y 0,05 mm), resistentes a la corrosión por el UF_6 y en cuyo interior hay una cuchilla que separa en dos fracciones el gas que circula por la tobera.

5.5.2. Tubos vorticiales

Tubos vorticiales y sus conjuntos especialmente diseñados o preparados. Los tubos vorticiales, de forma cilíndrica o cónica, están fabricadas o protegidos con materiales resistentes a la corrosión por el UF_6 su diámetro está comprendido entre 0,5 cm y 4 cm, tienen una relación longitud-diámetro de 20:1 o menos, y poseen una o varias entradas tangenciales. Los tubos pueden estar equipados con dispositivos tipo tobera en uno de sus extremos o en ambos.

NOTA EXPLICATIVA

El gas de alimentación penetra tangencialmente en el tubo vorticial por uno de sus extremos, o con ayuda de deflectores ciclónicos, o tangencialmente por numerosos orificios situados a lo largo de la periferia del tubo.

5.5.3. Compresores y sopladores de gas

Compresores axiales, centrífugos o impelentes, o sopladores de gas especialmente diseñados o preparados, fabricados o protegidos con materiales resistentes a la corrosión por el UF_6 y con una capacidad de aspiración de la mezcla de UF_6 /gas portador (hidrógeno o helio) de 2 m³/min o más.

NOTA EXPLICATIVA

Estos compresores y sopladores de gas normalmente tienen una relación de compresión comprendida entre 1,2:1 y 6:1.

5.5.4. Obturadores para ejes de rotación

Obturadores para ejes de rotación especialmente diseñados o preparados, con conexiones selladas de entrada y de salida para asegurar la estanqueidad del eje que conecta el rotor del compresor o el rotor del soplador de gas con el motor de propulsión a fin de asegurar un sellado fiable para evitar las fugas del gas de trabajo o la penetración de aire o del gas de sellado en la cámara interior del compresor o del soplador de gas llena con una mezcla de UF_6 /gas portador.

5.5.5. Intercambiadores de calor para enfriamiento del gas

Intercambiadores de calor especialmente diseñados o preparados, fabricados o protegidos con materiales resistentes a la corrosión por el UF_6 .

5.5.6. Cajas de los elementos de separación

Cajas de los elementos de separación especialmente diseñadas o preparadas, fabricadas o protegidas con materiales resistentes a la corrosión por el UF_6 , para alojar los tubos vorticales o las toberas de separación.

NOTA EXPLICATIVA

Estas cajas pueden ser recipientes cilíndricos de más de 300 mm de diámetro y de más de 900 mm de longitud, recipientes rectangulares de dimensiones comparables, y pueden haber sido diseñadas para su instalación horizontal o vertical.

5.5.7. Sistemas de alimentación/extracción del producto y de las colas

Sistemas o equipos especialmente diseñados o preparados para plantas de enriquecimiento, fabricados o protegidos con materiales resistentes a la corrosión por el UF_6 , en particular:

- a) Autoclaves, hornos o sistemas de alimentación utilizados para introducir el UF_6 en el proceso de enriquecimiento;
- b) Desublimadores (o trampas frías) utilizados para extraer el UF_6 del proceso de enriquecimiento para su posterior transferencia después del calentamiento;
- c) Estaciones de solidificación o de licuefacción utilizadas para extraer el UF_6 del proceso de enriquecimiento por compresión y conversión del UF_6 al estado líquido o al sólido;

- d) Estaciones de "productos" o "colas" utilizadas para transferir el UF_6 a los contenedores.

5.5.8. Sistemas colectores

Tuberías y colectores, fabricados o protegidos con materiales resistentes a la corrosión por el UF_6 , especialmente diseñados o preparados para manipular el UF_6 en el interior de las cascadas aerodinámicas. Normalmente, las tuberías forman parte de un sistema colector "doble" en el que cada etapa o grupo de etapas está conectado a cada uno de los colectores.

5.5.9. Bombas y sistemas de vacío

- a) Sistemas de vacío especialmente diseñados o preparados, con una capacidad de aspiración de $5 \text{ m}^3/\text{min}$ o más, y que comprenden distribuidores de vacío, colectores de vacío y bombas de vacío, y que han sido diseñados para trabajar en una atmósfera de UF_6 .
- b) Bombas de vacío especialmente diseñadas o preparadas para trabajar en una atmósfera de UF_6 , fabricadas o revestidas con materiales resistentes a la corrosión por el UF_6 . Estas bombas pueden estar dotadas de juntas de fluorocarburo y tener fluidos especiales de trabajo.

5.5.10. Válvulas especiales de parada y control

Válvulas de fuelle de parada y de control, manuales o automáticas, especialmente diseñadas o preparadas, fabricadas con materiales resistentes a la corrosión por el UF_6 , con un diámetro de 40 mm a 1 500 mm, para su instalación en los sistemas principal y auxiliares de plantas de enriquecimiento aerodinámico.

5.5.11. Espectrómetros de masa para UF_6 /fuentes de iones

Espectrómetros de masa magnéticos o cuadrupolares especialmente diseñados o preparados, capaces de tomar "en línea" de la corriente de UF_6 gaseoso, muestras del material de alimentación, del "producto" o de las "colas", y que posean todas las características siguientes:

1. Resolución unitaria para la unidad de masa superior a 320;
2. Fuentes de iones fabricadas o revestidas con cromoníquel, metal monel o galvanoníquelado;
3. Fuentes de ionización por bombardeo electrónico;
4. Presencia de un colector adaptado al análisis isotópico.

5.5.12. Sistemas de separación UF_6 /gas portador

Sistemas especialmente diseñados o preparados para separar el UF_6 del gas portador (hidrógeno o helio).

NOTA EXPLICATIVA

Estos sistemas han sido diseñados para reducir el contenido de UF_6 del gas portador a 1 ppm o menos y pueden comprender el equipo siguiente:

- a) Intercambiadores de calor criogénicos y crioseparadores capaces de alcanzar temperaturas de $-120^{\circ} C$ o inferiores,
- b) Unidades de refrigeración criogénicas capaces de alcanzar temperaturas de $-120^{\circ} C$ o inferiores,
- c) Toberas de separación o tubos vorticiales para separar el UF_6 del gas portador, o
- d) Trampas frías para el UF_6 capaces de alcanzar temperaturas de $-20^{\circ} C$ o inferiores.

5.6. Sistemas, equipo y componentes especialmente diseñados o preparados para su utilización en plantas de enriquecimiento por intercambio químico o por intercambio iónico

NOTA INTRODUCTORIA

Las diferencias mínimas de masa entre los isótopos de uranio ocasiona pequeños cambios en los equilibrios de las reacciones químicas, fenómeno que puede aprovecharse para la separación de los isótopos. Se han desarrollado con éxito dos procesos: intercambio químico líquido-líquido e intercambio iónico sólido-líquido.

En el proceso de intercambio químico líquido-líquido, las fases líquidas inmiscibles (acuosa y orgánica) se ponen en contacto por circulación en contracorriente para obtener un efecto de cascada correspondiente a miles de etapas de separación. La fase acuosa está compuesta por cloruro de uranio en solución en ácido clorhídrico; la fase orgánica está constituida por un agente de extracción que contiene cloruro de uranio en un solvente orgánico. Los contactores empleados en la cascada de separación pueden ser columnas de intercambio líquido-líquido (por ejemplo, columnas pulsadas dotadas de placas-tamiz) o contactores centrífugos líquido-líquido. En cada uno de ambos extremos de la cascada de separación se necesita una conversión química (oxidación y reducción) para permitir el reflujo. Una importante preocupación con respecto al diseño es evitar la contaminación de las corrientes de trabajo por ciertos iones metálicos. Por tanto, se utilizan tuberías y columnas de plástico, revestidas de plástico (comprendidos fluorocarburos polímeros) y/o revestidas de vidrio.

En el proceso de intercambio iónico sólido-líquido, el enriquecimiento se consigue por adsorción/desorción del uranio en un adsorbente o resina de intercambio iónico y de acción muy rápida. Se hace pasar una solución de uranio contenida en ácido clorhídrico y otros agentes químicos a través de columnas cilíndricas de enriquecimiento que contienen lechos de relleno formado por el adsorbente. Para conseguir un proceso continuo es necesario un sistema de reflujo para liberar el uranio del adsorbente y reinyectarlo en el flujo líquido de modo que

puedan recogerse el "producto" y las "colas". Esto se realiza con ayuda de agentes químicos adecuados de reducción/oxidación que son regenerados por completo en circuitos externos independientes y que pueden ser regenerados parcialmente dentro de las propias columnas de separación isotópica. La presencia de soluciones de ácido clorhídrico concentrado obliga a fabricar o proteger el equipo con materiales especiales resistentes a la corrosión.

5.6.1. Columnas de intercambio líquido-líquido (intercambio químico)

Columnas de intercambio líquido-líquido en contracorriente con aportación de energía mecánica (es decir, columnas pulsadas de placas-tamiz, columnas de placas de movimiento alternativo y columnas dotadas de turbomezcladores internos), especialmente diseñadas o preparadas para el enriquecimiento del uranio utilizando el proceso de intercambio químico. Para que sean resistentes a la corrosión por las soluciones de ácido clorhídrico concentrado, estas columnas y su interior se fabrican o se revisten con materiales plásticos adecuados (por ejemplo, fluorocarburos polímeros) o vidrio. Las columnas han sido diseñadas para que el tiempo de residencia correspondiente a una etapa sea corto (30 segundos o menos).

5.6.2. Contactores centrífugos líquido-líquido (intercambio químico)

Contactores centrífugos líquido-líquido especialmente diseñados o preparados para el enriquecimiento del uranio utilizando procesos de intercambio químico. En estos contactores, la dispersión de las corrientes orgánica y acuosa se consigue por rotación y la separación de las fases con ayuda de una fuerza centrífuga. Para hacerlos resistentes a la corrosión por las soluciones de ácido clorhídrico concentrado, los contactores se fabrican o se revisten con materiales plásticos adecuados (por ejemplo fluorocarburos polímeros) o se revisten con vidrio. Los contactores centrífugos han sido diseñados para que el tiempo de residencia correspondiente a una etapa sea corto (30 segundos o menos).

5.6.3. Equipo y sistemas de reducción del uranio (intercambio químico)

- a) Celdas de reducción electroquímica especialmente diseñadas o preparadas para reducir el uranio de un estado de valencia a otro inferior para su enriquecimiento por el proceso de intercambio químico. Los materiales de las celdas en contacto con las soluciones de trabajo deben ser resistentes a la corrosión por soluciones de ácido clorhídrico concentrado.

NOTA EXPLICATIVA

El compartimiento catódico de la celda debe ser diseñado de modo que el uranio no pase a un estado de valencia más elevado por reoxidación. Para mantener el uranio en el compartimiento catódico, la celda debe poseer una membrana de diafragma inatacable fabricada con un material especial de intercambio catiónico. El cátodo consiste en un conductor sólido adecuado, por ejemplo, grafito.

- b) Sistemas situados en el extremo de la cascada donde se recupera el producto especialmente diseñados o preparados para separar el U^{4+} de la corriente orgánica, ajustar la concentración de ácido y alimentar las celdas de reducción electroquímica.

NOTA EXPLICATIVA

Estos sistemas están formados por equipo de extracción por solvente para separar el U^{4+} de la corriente orgánica a fin de introducirlo en la solución acuosa, equipo de evaporación y/o de otra índole para ajustar y controlar el pH de la solución y bombas u otros dispositivos de transferencia para alimentar las celdas de reducción electroquímica. Una de las principales preocupaciones en cuanto al diseño es evitar la contaminación de la corriente acuosa por ciertos iones metálicos. En consecuencia, aquellas partes del sistema que están en contacto con la corriente de trabajo se fabrican o protegen con materiales adecuados (por ejemplo, vidrio, fluorocarburos polímeros, sulfato de polifenilo, poliéter sulfone y grafito impregnado con resina).

5.6.4. Sistemas de preparación de la alimentación (intercambio químico)

Sistemas especialmente diseñados o preparados para producir soluciones de cloruro de uranio de elevada pureza destinadas a las plantas de separación de los isótopos de uranio por intercambio químico.

NOTA EXPLICATIVA

Estos sistemas comprenden equipo de purificación por disolución, extracción por solvente y/o intercambio iónico, y celdas electrolíticas para reducir el uranio U^{6+} o U^{4+} a U^{3+} . Estos sistemas producen soluciones de cloruro de uranio que solo contienen algunas partes por millón de impurezas metálicas, por ejemplo, cromo, hierro, vanadio, molibdeno y otros cationes bivalentes o de valencia más elevada. Entre los materiales de fabricación de partes del sistema de tratamiento del U^{3+} de elevada pureza figuran el vidrio, los fluorocarburos polímeros, el sulfato de polifenilo o el poliéter sulfone y el grafito impregnado con resina y con un revestimiento de plástico.

5.6.5. Sistemas de oxidación del uranio (intercambio químico)

Sistemas especialmente diseñados o preparados para oxidar el U^{3+} en U^{4+} a fin de reintroducirlo en la cascada de separación isotópica en el proceso de enriquecimiento por intercambio químico.

NOTA EXPLICATIVA

Estos sistemas pueden contener equipo del tipo siguiente:

- a) Equipo para poner en contacto el cloro y el oxígeno con el efluente acuoso procedente del equipo de separación isotópica y extraer el U^{4+} resultante a fin de introducirlo en la corriente

orgánica empobrecida procedente de la extremidad de la cascada, y b) equipo para separar el agua del ácido clorhídrico de modo que el agua y el ácido clorhídrico concentrado puedan ser reintroducidos en el proceso en lugares adecuados.

5.6.6. Resinas de intercambio iónico/adsorbentes de reacción rápida (intercambio iónico)

Resinas de intercambio iónico o adsorbentes de reacción rápida especialmente diseñados o preparados para el enriquecimiento del uranio por el proceso de intercambio iónico, en particular resinas macrorreticulares porosas y/o estructuras peliculares en las que los grupos de intercambio químico activos están limitados a un revestimiento superficial en un soporte poroso inactivo, y otras estructuras compuestas en forma adecuada, sobre todo partículas o fibras. Estas resinas de intercambio iónico/adsorbentes tienen un diámetro de 0,2 mm o menor y deben ser quimiorresistentes a soluciones de ácido clorhídrico concentrado y lo bastante físicorresistentes para no experimentar una degradación en las columnas de intercambio. Las resinas/adsorbentes han sido diseñados especialmente para conseguir una cinética de intercambio de los isótopos del uranio muy rápida (el tiempo de semirreacción es inferior a 10 segundos) y pueden trabajar a temperaturas comprendidas entre 100° C y 200° C.

5.6.7. Columnas de intercambio iónico (intercambio iónico)

Columnas cilíndricas de más de 1 000 mm de diámetro que contienen lechos de relleno de resina de intercambio iónico/adsorbente, especialmente diseñadas o preparadas para el enriquecimiento del uranio por intercambio iónico. Estas columnas están fabricadas o protegidas con materiales (por ejemplo, titanio o plásticos de fluorocarburo) resistentes a la corrosión por soluciones de ácido clorhídrico concentrado y pueden trabajar a temperaturas comprendidas entre 100° C y 200° C y presiones superiores a 0,7 MPa (102 psia).

5.6.8. Sistemas de reflujo (intercambio iónico)

a) Sistemas de reducción química o electroquímica especialmente diseñados o preparados para regenerar el agente o los agentes de reducción química utilizado o utilizados en las cascadas de enriquecimiento del uranio por intercambio iónico.

b) Sistemas de oxidación química o electroquímica especialmente diseñados o preparados para regenerar el agente o agentes de oxidación química utilizado o utilizados en las cascadas de enriquecimiento del uranio por intercambio iónico.

NOTA EXPLICATIVA

El proceso de enriquecimiento por intercambio iónico puede utilizar, por ejemplo, el titanio trivalente (Ti^{3+}) como catión reductor,

en cuyo caso el sistema de reducción regeneraría el Ti^{3+} por reducción del Ti^{4+} .

El proceso puede utilizar, por ejemplo, hierro trivalente (Fe^{3+}) como oxidante en cuyo caso el sistema de oxidación regeneraría el Fe^{3+} por oxidación del Fe^{2+} .

5.7. Sistemas, equipo y componentes especialmente diseñados o preparados para su utilización en plantas de enriquecimiento por láser

NOTA INTRODUCTORIA

Los actuales sistemas de enriquecimiento por láser se clasifican en dos categorías: aquél en el que el medio en el que se aplica el proceso es vapor atómico de uranio y aquél en el que es vapor de un compuesto de uranio. La nomenclatura corriente de los procesos es la siguiente: primera categoría - separación isotópica por láser en vapor atómico (AVLIS - SILVA); segunda categoría - separación isotópica por láser de moléculas (MLIS o MOLIS-SILMO) y reacción química por activación láser isotópicamente selectiva (CRISLA). Los sistemas, equipo y componentes de las plantas de enriquecimiento por láser comprenden: a) dispositivos de alimentación de vapor de uranio metálico (para la fotoionización selectiva) o dispositivos de alimentación de vapor de un compuesto del uranio (para la fotodisociación o activación química); b) dispositivos para recoger el uranio metálico enriquecido o empobrecido como "producto" y "colas" en la primera categoría, y dispositivos para recoger los compuestos disociados o activos como "producto" y material no modificado como "colas" en la segunda categoría; c) sistemas láser del proceso para excitar selectivamente la especie uranio 235; y d) equipo para la preparación de la alimentación y la conversión del producto. Debido a la complejidad de la espectroscopia de los átomos y compuestos del uranio podrá tal vez ser necesario combinar cierto número de tecnologías disponibles por láser.

NOTA EXPLICATIVA

Muchos de los artículos enumerados en esta sección entran directamente en contacto con el uranio metálico vaporizado o líquido, ya sea con un gas del proceso formado por UF_6 o por una mezcla de UF_6 con otros gases. Todas las superficies que entran en contacto con el uranio o con el UF_6 están totalmente fabricadas o protegidas con materiales resistentes a la corrosión. A los fines de la sección relativa a los artículos para el enriquecimiento por láser, los materiales resistentes a la corrosión por el uranio metálico o las aleaciones de uranio vaporizados o líquidos son el tántalo y el grafito revestido con itrio; entre los materiales resistentes a la corrosión por el UF_6 figuran el cobre, el acero inoxidable, el aluminio, las aleaciones de aluminio, el níquel o las aleaciones que contengan el 60% o más de níquel y los polímeros de hidrocarburos totalmente fluorados resistentes al UF_6 .

5.7.1. Sistemas de vaporización del uranio (SILVA)

Sistemas de vaporización del uranio especialmente diseñados o preparados que contienen cañones de haz electrónico de elevada potencia en franja o barrido, y que proporcionan una potencia en el blanco de más de 2,5 kW/cm..

5.7.2. Sistemas de manipulación del uranio metálico líquido (SILVA)

Sistemas de manipulación de metales líquidos especialmente diseñados o preparados para aleaciones de uranio o uranio fundidos, formados por crisoles y su equipo de enfriamiento.

NOTA EXPLICATIVA

Los crisoles y otras partes de este sistema que están en contacto con aleaciones de uranio o uranio fundidos están fabricados o protegidos con materiales de resistencia adecuada al calor y a la corrosión. Entre los materiales adecuados figura el tántalo, el grafito revestido con itrio, el grafito revestido con otros óxidos de tierras raras (véase el documento INFCIRC/254/Rev.1/Parte 2, punto 2.7) o mezclas de los mismos.

5.7.3. Conjuntos colectores del "producto" y "colas" del uranio metálico (SILVA)

Conjuntos colectores del "producto" y "colas" especialmente diseñados o preparados para el uranio metálico en estado líquido o sólido.

NOTA EXPLICATIVA

Los componentes de estos conjuntos se fabrican o protegen con materiales resistentes al calor y a la corrosión por el uranio metálico vaporizado o líquido (por ejemplo, tántalo o grafito revestido con itrio) y pueden comprender tuberías, válvulas, accesorios, "canalones", alimentadores directos intercambiadores de calor y placas colectoras utilizadas en los métodos de separación magnética, electrostática y de otra índole.

5.7.4. Cajas de módulo separador (SILVA)

Recipientes rectangulares o cilíndricos especialmente diseñados o preparados para contener la fuente de vapor de uranio metálico, el cañón de haz electrónico y los colectores del "producto" y de las "colas".

NOTA EXPLICATIVA

Estas cajas poseen numerosos orificios para la alimentación eléctrica y de agua, ventanas para los haces de láser, conexiones de las bombas de vacío y el instrumental de diagnóstico y vigilancia.

Están dotadas de medios de abertura y cierre para poder reajustar los componentes internos.

5.7.5. Toberas de expansión supersónica (SILMO)

Toberas de expansión supersónica, resistentes a la corrosión por el UF_6 , especialmente diseñadas o preparadas para enfriar mezclas de UF_6 y el gas portador a 150 K o menos.

5.7.6. Colectores del producto (pentafluoruro de uranio) (SILMO)

Colectores de pentafluoruro de uranio (UF_5) sólido especialmente diseñados o preparados y formados por colectores de filtro, impacto o ciclón, o sus combinaciones, y que son resistentes a la corrosión en un medio de UF_5/UF_6 .

5.7.7. Compresores de UF_6 /gas portador (SILMO)

Compresores especialmente diseñados o preparados para mezclas de UF_6 /gas portador, destinados a un funcionamiento de larga duración en un medio de UF_6 . Los componentes de estos protectores que entran en contacto con el gas del proceso están fabricados o protegidos con materiales resistentes a la corrosión por el UF_6 .

5.7.8. Obturadores para ejes de rotación (SILMO)

Obturadores para ejes de rotación especialmente diseñados o preparados, con conexiones selladas de entrada y salida, para asegurar la estanqueidad de los ejes que conectan los rotores de los compresores con los motores de propulsión para asegurar que el sistema disponga de un sellado fiable a fin de evitar los escapes del gas de trabajo o la penetración de aire o de gas de estanqueidad en la cámara interior del compresor llena con una mezcla de UF_6 /gas portador.

5.7.9. Sistemas de fluoración (SILMO)

Sistemas especialmente diseñados o preparados para fluorar el UF_5 (sólido) en UF_6 (gaseoso).

NOTA EXPLICATIVA

Estos sistemas han sido diseñados para fluorar el polvo de UF_5 y recoger el UF_6 en contenedores o reintroducirlo en las unidades SILMO para su enriquecimiento más elevado. En un método, la fluoración puede realizarse dentro del sistema de separación isotópica, y la reacción y la recuperación se hacen directamente en los colectores del "producto". En el otro método, el polvo de UF_5 puede ser retirado de los colectores del "producto" para introducirlo en una vasija adecuada de reacción (por ejemplo, un reactor de lecho fluidizado, un reactor helicoidal o torre de llama) para la fluoración. En ambos métodos, se utiliza

equipo de almacenamiento y transferencia del flúor (u otros agentes adecuados de fluoración), y de recogida y transferencia del UF₆.

5.7.10. Espectrómetros de masa para UF₆/fuentes de iones (SILMO)

Espectrómetros de masa magnéticos o cuadripolares especialmente diseñados o preparados, capaces de tomar "en línea" de las corrientes de UF₆ gaseoso, muestras de material de alimentación, del "producto" o de las "colas", y que poseen todos las siguientes características:

1. Resolución unitaria para la unidad de masa superior a 320;
2. Fuentes de iones fabricadas o revestidas con cromoníquel, metal monel o galvanoniquelado;
3. Fuentes de ionización por bombardeo electrónico;
4. Presencia de un colector adaptado al análisis isotópico.

5.7.11. Sistemas de alimentación/sistemas de retirada del producto y de las colas (SILMO)

Sistemas o equipo especialmente diseñados o preparados para plantas de enriquecimiento, fabricados o protegidos con materiales resistentes a la corrosión por el UF₆, en particular:

- a) Autoclaves, hornos o sistemas de alimentación utilizados para introducir el UF₆ en el proceso de enriquecimiento;
- b) Desublimadores (o trampas frías) utilizados para extraer el UF₆ del proceso de enriquecimiento para su transferencia subsiguiente después del calentamiento;
- c) Estaciones de solidificación o licuefacción para extraer el UF₆ del proceso de enriquecimiento por compresión y conversión del UF₆ al estado líquido o sólido;
- d) Estaciones del "producto" o de las "colas" utilizadas para transferir el UF₆ a contenedores.

5.7.12. Sistemas de separación UF₆/gas portador (SILMO)

Sistemas especialmente diseñados o preparados para separar el UF₆ del gas portador. El gas portador puede ser nitrógeno, argón u otro gas.

NOTA EXPLICATIVA

Estos sistemas pueden comprender el equipo siguiente:

- a) Intercambiadores de calor criogénicos o crioseparadores capaces de alcanzar temperaturas de -120° C o menos,
- b) Unidades de refrigeración criogénicas capaces de alcanzar temperaturas de -120° C o menos, o
- c) Trampas frías para el UF₆ capaces de alcanzar temperaturas de -20° C o menos.

5.7.13. Sistemas por láser (SILVA, SILMO y CRISLA)

Láseres o sistemas lásericos especialmente diseñados o preparados para la separación de los isótopos del uranio.

NOTA EXPLICATIVA

Los láseres y los componentes lásericos de importancia en procesos de enriquecimiento por láser comprenden los enumerados en el punto 3.6 del documento INFCIRC/254/Rev.1/Parte 2. El sistema láserico para el proceso SILVA está formado normalmente por dos láseres: un láser de vapor de cobre y un láser de colorante. El sistema láserico para SILMO está formado normalmente por un láser de CO₂ o un láser de excímero y una celda óptica de multipasos con espejos giratorios en ambos extremos. En ambos procesos los láseres o sistemas lásericos deben estar dotados de un estabilizador de frecuencia espectral para poder funcionar durante prolongados períodos de tiempo.

5.8. Sistemas, equipos y componentes especialmente diseñados o preparados para su utilización en plantas de enriquecimiento por separación en un plasma

NOTA INTRODUCTORIA

En el proceso de separación en un plasma, un plasma de iones de uranio atraviesa un campo eléctrico acordado a la frecuencia de resonancia de los iones ²³⁵U, de modo que estos últimos absorban preferentemente la energía y aumente el diámetro de sus órbitas helicoidales. Los iones que recorren una trayectoria de gran diámetro son atrapados obteniéndose un producto enriquecido en ²³⁵U. El plasma, creado por ionización del vapor de uranio, está contenido en una cámara de vacío sometida a un campo magnético de elevada intensidad producido por un imán supraconductor. Los principales sistemas tecnológicos del proceso comprenden el sistema de generación del plasma de uranio, el módulo separador con el imán superconductor (véase el punto 3.10 del documento INFCIRC/254/Rev.1/Parte 2), y los sistemas de extracción del metal para recoger el "producto" y las "colas".

5.8.1. Fuentes de energía de hiperfrecuencia y antenas

Fuentes de energía de hiperfrecuencia y antenas especialmente diseñadas o preparadas para producir o acelerar iones y que poseen las siguientes características: frecuencia superior a 30 GHz y potencia media a la salida superior a 50 kW para la producción de iones.

5.8.2. Bobinas excitadoras de iones

Bobinas excitadoras de iones de radiofrecuencia especialmente diseñadas o preparadas para frecuencias superiores a 100 kHz y capaces de soportar una potencia media superior a 40 kW.

5.8.3. Sistemas generadores de plasma de uranio

Sistemas especialmente diseñados o preparados para generar plasma de uranio, que pueden contener cañones de electrones de gran potencia en barrido o en franja, y que proporcionan una potencia en el blanco superior a 2,5 kW/cm.

5.8.4. Sistemas de manipulación del uranio metálico líquido

Sistemas de manipulación de metales líquidos especialmente diseñados o preparados para el uranio o las aleaciones de uranio fundidos, que comprenden crisoles y equipos de enfriamiento de los crisoles.

NOTA EXPLICATIVA

Los crisoles y otras partes del sistema que puedan entrar en contacto con el uranio o aleaciones de uranio fundidos están fabricados o protegidos con materiales de resistencia adecuada a la corrosión y al calor. Entre estos materiales cabe citar el tántalo, el grafito revestido con itrio, el grafito revestido con otros óxidos de tierras raras (véase el documento INFCIRC/254/Rev.1/Parte 2, punto 2.7) o mezclas de estas sustancias.

5.8.5. Conjuntos colectores del "producto" y de las "colas" de uranio metálico

Conjuntos colectores del "producto" y de las "colas" especialmente diseñados o preparados para el uranio metálico en estado sólido. Estos conjuntos colectores están fabricados o protegidos con materiales resistentes al calor y a la corrosión por el vapor de uranio metálico, por ejemplo, tántalo o grafito revestido con itrio.

5.8.6. Cajas de módulos separadores

Recipientes cilíndricos especialmente diseñados o preparados para su utilización en plantas de enriquecimiento por separación en un plasma y destinadas a alojar una fuente de plasma de uranio, una bobina excitadora de radiofrecuencia y los colectores del "producto" y de las "colas".

NOTA EXPLICATIVA

Estas cajas poseen numerosos orificios para la entrada de las barras eléctricas, conexiones de las bombas de difusión e instrumental de diagnóstico y vigilancia. Están dotadas de medios de abertura y cierre para poder reajustar los componentes internos y están fabricadas con un material no magnético adecuado, por ejemplo, acero inoxidable.

5.9. Sistemas, equipo y componentes especialmente diseñados o preparados para su utilización en plantas de enriquecimiento electromagnético

NOTA INTRODUCTORIA

En el proceso electromagnético, los iones de uranio metálico producidos por ionización de una sal (normalmente UCI) después de ser acelerados atraviesan un campo electromagnético, que hace que los iones de los diferentes isótopos sigan trayectorias diferentes. Los principales componentes de un separador electromagnético de isótopos son: un campo magnético causante de la desviación del haz iónico y de la separación de los isótopos, una fuente de iones con su sistema de aceleración y un sistema colector para recoger los iones separados. Los sistemas auxiliares del proceso comprenden la alimentación del imán, la alimentación de alta tensión de la fuente de iones, la instalación de vacío e importantes sistemas de manipulación química para la recuperación del producto y la depuración/reciclado de los componentes.

5.9.1. Separadores electromagnéticos de isótopos

Separadores electromagnéticos de isótopos especialmente diseñados o preparados para la separación de los isótopos de uranio, y equipo y componentes para esta actividad, en particular:

a) Fuentes de iones

Fuentes de iones de uranio, únicas o múltiples, especialmente diseñadas o preparadas, que comprenden una fuente de vapor, un ionizador y un acelerador de haz, fabricadas con materiales adecuados, como el grafito, el acero inoxidable o el cobre, y capaces de proporcionar una corriente de ionización total de 50 mA o superior.

b) Collectores de iones

Placas colectoras formadas por dos o más ranuras y bolsas especialmente diseñadas o preparadas para recoger haces de iones de uranio enriquecidos y empobrecidos, y fabricadas con materiales adecuados, como el grafito o el acero inoxidable.

c) Cajas de vacío

Cajas de vacío especialmente diseñadas o preparadas para los separadores electromagnéticos del uranio, fabricadas con materiales magnéticos adecuados, como el acero inoxidable, y capaces de trabajar a presiones de 0,1 Pa o inferiores.

NOTA EXPLICATIVA:

Las cajas, diseñadas para contener las fuentes de iones, las placas colectoras y las camisas de agua, están dotadas de medios para conectar las bombas de difusión, los dispositivos de abertura y cierre, y la reinstalación de estos componentes.

d) Piezas polares de los imanes

Piezas polares de los imanes especialmente diseñadas o preparadas, de diámetro superior a 2 m, utilizadas para mantener un campo magnético constante en el interior del separador electromagnético de isótopos y transferir el campo magnético entre separadores contiguos.

5.9.2. Alimentación de alta tensión

Alimentación de alta tensión especialmente diseñada o preparada para las fuentes de iones y que tiene siempre todas las características siguientes: capaz de proporcionar de modo continuo, durante un período de 8 horas, una tensión a la salida de 20 000 V o superior, con una intensidad a la salida de 1 A o superior y una variación de tensión inferior a 0,01%.

5.9.3. Alimentación eléctrica de los imanes

Alimentación con corriente continua de los imanes especialmente diseñada o preparada y que tiene siempre todas las características siguientes: capaz de producir de modo continuo, durante un período de ocho horas, una corriente a la salida de intensidad de 500 A o superior a una tensión de 100 V o superior, con variaciones de intensidad y de tensión inferiores a 0,01%.

6. Plantas de producción de agua pesada, deuterio y compuestos de deuterio y equipo especialmente diseñado o preparado para dicha producción

NOTA INTRODUCTORIA

El agua pesada puede producirse por varios procesos. No obstante, los dos procesos que han demostrado ser viables desde el punto de vista comercial son el proceso de intercambio agua-sulfuro de hidrógeno (proceso GS) y el proceso de intercambio amoníaco-hidrógeno.

El proceso GS se basa en el intercambio de hidrógeno y deuterio entre el agua y el sulfuro de hidrógeno en una serie de torres que funcionan con su sección superior en frío y su sección inferior en caliente. En las torres, el agua baja mientras el sulfuro de hidrógeno gaseoso circula en sentido ascendente. Se utiliza una serie de bandejas perforadas para favorecer la mezcla entre el gas y el agua. El deuterio pasa al agua a baja temperatura y al sulfuro de hidrógeno a alta temperatura. El gas o el agua, enriquecido en deuterio, se extrae de las torres de la primera etapa en la confluencia de las secciones caliente y fría y se repite el proceso en torres de etapas subsiguientes. El producto de la última etapa, o sea el agua enriquecida hasta un 30% en deuterio, se envía a una unidad de destilación para producir agua pesada utilizable en reactores, es decir, óxido de deuterio al 99,75%.

El proceso de un intercambio amoniaco-hidrógeno permite extraer deuterio a partir de un gas de síntesis por contacto con amoniaco líquido en presencia de un catalizador. El gas de síntesis se envía a las torres de intercambio y posteriormente al convertidor de amoniaco. Dentro de las torres el gas circula en sentido ascendente mientras que el amoniaco líquido lo hace en sentido inverso. El deuterio se extrae del hidrógeno del gas de síntesis y se concentra en el amoniaco. El amoniaco pasa entonces a un fraccionador de amoniaco en la parte inferior de la torre mientras que el gas sube a un convertidor de amoniaco en la parte superior. El enriquecimiento tiene lugar en etapas subsiguientes y, mediante destilación final, se obtiene agua pesada para uso en reactores. El gas de síntesis de alimentación puede obtenerse en una planta de amoniaco que, a su vez, puede construirse asociada a una planta de agua pesada por intercambio amoniaco-hidrógeno. El proceso de intercambio amoniaco-hidrógeno también puede utilizar agua común como fuente de alimentación de deuterio.

Gran parte de los artículos del equipo esencial de las plantas de producción de agua pesada por el proceso GS o el proceso de intercambio amoniaco-hidrógeno es de uso común en varios sectores de las industrias química y petrolera. Esto sucede en particular en las pequeñas plantas que utilizan el proceso GS. Ahora bien, solo algunos de estos artículos pueden obtenerse en el comercio normal. Los procesos GS y de intercambio amoniaco-hidrógeno exigen la manipulación de grandes cantidades de fluidos inflamables, corrosivos y tóxicos a presiones elevadas. Por consiguiente, cuando se establece el diseño y las normas de funcionamiento de plantas y equipo que utilizan estos procesos, es necesario prestar cuidadosa atención a la selección de materiales y a las especificaciones de los mismos para asegurar una prolongada vida útil con elevados niveles de seguridad y fiabilidad. La elección de la escala es, principalmente, función de los aspectos económicos y de las necesidades. Así pues, gran parte del equipo se preparará como solicite el cliente.

Finalmente, cabe señalar que, tanto en el proceso GS como en el de intercambio amoniaco-hidrógeno, artículos de equipo que, individualmente, no están diseñados o preparados especialmente para la producción de agua pesada pueden montarse en sistemas que sí lo están especialmente para producir agua pesada. A título de ejemplo cabe citar el sistema de producción con catalizador que se utiliza en el proceso de intercambio amoniaco-hidrógeno y los sistemas de destilación de agua empleados para la concentración final del agua pesada utilizable en reactores.

Los artículos de equipo que son especialmente diseñados o preparados para producción de agua pesada ya sea por el proceso de intercambio agua-sulfuro de hidrógeno o por el proceso de intercambio amoniaco-hidrógeno comprenden los siguientes elementos:

6.1. Torres de intercambio agua-sulfuro de hidrógeno

Torres de intercambio fabricadas con acero al carbono fino (por ejemplo ASTM A516) con diámetros de 6 m (20 pies) a 9 m (30 pies), capaces de funcionar a presiones superiores o iguales a 2 MPa (300 psi) y con un sobreespesor de corrosión de 6 mm o superior, especialmente diseñadas o preparadas para producción de agua pesada por el proceso de intercambio agua-sulfuro de hidrógeno.

6.2. Sopladores y compresores

Sopladores o compresores centrífugos, de etapa única y baja presión (es decir, 0,2 MPa o 30 psi), para la circulación del sulfuro de hidrógeno gaseoso (es decir, gas que contiene más de 70% de H₂S) especialmente diseñados o preparados para producción de agua pesada por el proceso de intercambio agua-sulfuro de hidrógeno. Estos sopladores o compresores tienen una capacidad de caudal superior o igual a 56 m³/segundo (120 000 SCFM) al funcionar a presiones de aspiración superiores o iguales a 1,8 MPa (260 psi), y tienen juntas diseñadas para trabajar en un medio húmedo con H₂S.

6.3. Torres de intercambio amoniaco-hidrógeno

Torres de intercambio amoniaco-hidrógeno de altura superior o igual a 35 m (114,3 pies) y diámetro de 1,5 m (4,9 pies) a 2,5 m (8,2 pies), capaces de funcionar a presiones mayores de 15 MPa (2 225 psi), especialmente diseñadas o preparadas para producción de agua pesada por el proceso de intercambio amoniaco-hidrógeno. Estas torres también tienen al menos una abertura axial, de tipo pestaña, del mismo diámetro que la parte cilíndrica, a través de la cual pueden insertarse o extraerse las partes internas.

6.4. Partes internas de la torre y bombas de etapa

Partes internas de la torre y bombas de etapa especialmente diseñadas o preparadas para torres de producción de agua pesada por el proceso de intercambio amoniaco-hidrógeno. Las partes internas de la torre comprenden contactores de etapa especialmente diseñados para favorecer un contacto íntimo entre el gas y el líquido. Las bombas de etapa comprenden bombas sumergibles especialmente diseñadas para la circulación del amoniaco líquido en una etapa de contacto dentro de las torres.

6.5. Fraccionadores de amoniaco

Fraccionadores de amoniaco con una presión de funcionamiento superiores o igual a 3 MPa (450 psi) especialmente diseñados o preparados para producción de agua pesada por el proceso de intercambio amoniaco-hidrógeno.

6.6. Analizadores de absorción infrarroja

Analizadores de absorción infrarroja capaces de realizar análisis en línea de la razón hidrógeno/deuterio cuando las concentraciones de deuterio son superiores o iguales a 90%.

6.7. Quemadores catalíticos

Quemadores catalíticos para la conversión en agua pesada del deuterio gaseoso enriquecido especialmente diseñados o preparados para la producción de agua pesada por el proceso de intercambio amoniaco-hidrógeno.

7. Plantas de conversión del uranio y equipo especialmente diseñado o preparado para esta actividad

NOTA INTRODUCTORIA

Los diferentes sistemas y plantas de conversión del uranio permiten realizar una o varias transformaciones de una de las especies químicas del uranio en otra, en particular: conversión de concentrados de mineral uranífero en UO_3 , conversión de UO_3 en UO_2 , conversión de óxidos de uranio en UF_4 o UF_6 , conversión de UF_6 en UF_4 , conversión de UF_4 en uranio metálico y conversión de fluoruros de uranio en UO_2 . Muchos de los artículos del equipo esencial de las plantas de conversión del uranio son comunes a varios sectores de la industria química. Por ejemplo, entre los tipos de equipo empleados en estos procesos cabe citar: hornos, hornos rotatorios, reactores de lecho fluidizado, torres de llama, centrifugadoras en fase líquida, columnas de destilación y columnas de extracción líquido-líquido. Sin embargo, solo algunos de los artículos se pueden adquirir en el "comercio"; la mayoría se preparará según las necesidades y especificaciones del cliente. En algunos casos, son necesarias consideraciones especiales acerca del diseño y construcción para tener en cuenta las propiedades corrosivas de ciertos productos químicos manejados (HF , F_2 , ClF_3 y fluoruros de uranio). Por último, cabe señalar que en todos los procesos de conversión del uranio, los artículos del equipo que por separado no han sido diseñados o preparados para esta conversión pueden montarse en sistemas especialmente diseñados o preparados con esa finalidad.

7.1. Sistemas especialmente diseñados o preparados para la conversión de los concentrados de mineral uranífero en UO_3

NOTA EXPLICATIVA

La conversión de los concentrados de mineral uranífero en UO_3 puede realizarse disolviendo primero el mineral en ácido nítrico y extrayendo el nitrato de uranilo purificado con ayuda de un solvente como el fosfato de tributilo. A continuación, el nitrato de uranilo es

convertido en UO_3 ya sea por concentración y desnitrificación o por neutralización con gas amoníaco para producir un diuranato de amonio que después es sometido a filtración, secado y calcinación.

7.2. Sistemas especialmente diseñados o preparados para la conversión del UO_3 en UF_6

NOTA EXPLICATIVA

La conversión del UO_3 en UF_6 puede realizarse directamente por fluoración. Este proceso necesita una fuente de flúoro gaseoso o de trifluoruro de cloro.

7.3. Sistemas especialmente diseñados o preparados para la conversión del UO_3 en UO_2

NOTA EXPLICATIVA

La conversión del UO_3 en UO_2 puede realizarse por reducción del UO_3 por medio de hidrógeno o gas amoníaco craqueado.

7.4. Sistemas especialmente diseñados o preparados para la conversión del UO_2 en UF_4

NOTA EXPLICATIVA

La conversión del UO_2 en UF_4 puede realizarse haciendo reaccionar el UO_2 con ácido fluorhídrico gaseoso (HF) a 300-500° C.

7.5. Sistemas especialmente diseñados o preparados para la conversión del UF_4 en UF_6

NOTA EXPLICATIVA

La conversión del UF_4 en UF_6 se realiza por reacción exotérmica con flúor en un reactor de torre. El UF_6 es condensado a partir de los efluentes gaseosos calientes haciendo pasar los efluentes por una trampa fría enfriada a -10° C. El proceso necesita una fuente de flúor gaseoso.

7.6. Sistemas especialmente diseñados o preparados para la conversión del UF_4 en U metálico

NOTA EXPLICATIVA

La conversión del UF_4 en U metálico se realiza por reducción con magnesio (grandes cantidades) o calcio (pequeñas cantidades). La reacción se efectúa a una temperatura superior al punto de fusión del uranio (1 130° C).

7.7. Sistemas especialmente diseñados o preparados para la conversión del UF₆ en UO₂

NOTA EXPLICATIVA

La conversión del UF₆ en UO₂ puede realizarse por tres procesos diferentes. En el primero, el UF₆ es reducido e hidrolizado en UO₂ con ayuda de hidrógeno y vapor. En el segundo, el UF₆ es hidrolizado por disolución en agua; la adición de amoníaco precipita el diuranato de amonio que es reducido a UO₂ por el hidrógeno a una temperatura de 820° C. En el tercer proceso, el NH₃, el CO₂ y el UF₆ gaseosos se combinan en el agua, lo que ocasiona la precipitación del carbonato de uranilo y de amonio. Este carbonato se combina con el vapor y el hidrógeno a 500-600° C para producir el UO₂.

La conversión del UF₆ en UO₂ constituye a menudo la primera etapa que se realiza en una planta de fabricación de combustible.

7.8. Sistemas especialmente diseñados o preparados para la conversión del UF₆ en UF₄

NOTA EXPLICATIVA

La conversión del UF₆ en UF₄ se realiza por reducción con hidrógeno.