

---

## Comunicación de fecha 18 de febrero de 2020 recibida de la Misión Permanente de Dinamarca en relación con la exportación de materiales nucleares y de determinadas categorías de equipo y otros materiales

1. El Director General ha recibido una comunicación de la Misión Permanente de Dinamarca, de fecha 18 de febrero de 2020 y firmada por la Presidenta del Comité Zangger, Sra. Louise Fluger Callesen, en nombre de los Gobiernos de Alemania, la Argentina, Australia, Austria, Belarús, Bélgica, Bulgaria, el Canadá, China, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, los Estados Unidos de América, la Federación de Rusia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, el Japón, Kazajstán, Luxemburgo, Noruega, Nueva Zelandia, los Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, la República Checa, la República de Corea, Rumania, Sudáfrica, Suecia, Suiza, Turquía y Ucrania<sup>1</sup>, relacionada con la decisión de modificar la Lista Inicial del Comité Zangger y en la que se pide al Director General que señale la comunicación y su anexo a la atención de todos los Estados Miembros.

2. Conforme a lo solicitado, por la presente se distribuye la comunicación y su anexo para información de todos los Estados Miembros.

---

<sup>1</sup> La Unión Europea participa en calidad de observador permanente.

**DANMARKS AMBASSADE & FASTE MISSION**

Viena

Excmo. Sr. Rafael Mariano Grossi  
Director General  
Organismo Internacional de Energía Atómica  
Viena (Austria)

Viena, 18 de febrero de 2020

Excelentísimo Señor:

En nombre de los Gobiernos de Alemania, la Argentina, Australia, Austria, Belarús, Bélgica, Bulgaria, el Canadá, China, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, los Estados Unidos de América, la Federación de Rusia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, el Japón, Kazajstán, Luxemburgo, Noruega, Nueva Zelanda, los Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, la República Checa, la República de Corea, Rumania, Sudáfrica, Suecia, Suiza, Turquía y Ucrania<sup>1</sup>, tengo el honor de transmitir la decisión de modificar la Lista Inicial del Comité Zangger.

Los Gobiernos mencionados han decidido modificar la lista del Comité Zangger según se indica abajo para definir con más claridad el nivel de aplicación que, a juicio de todos los Estados Miembros del Comité Zangger, es esencial para el cumplimiento de los entendimientos:

Anexo del Memorando B:

2.2.: Este cambio modifica la nota explicativa para aclarar la desregulación de grafito de pureza nuclear no destinado para su uso en un reactor nuclear.

3.1. , con el correspondiente cambio de la nota introductoria del punto 3: este cambio amplía la descripción de las máquinas para romper las vainas de combustible nuclear.

3.2. : este cambio amplía la nomenclatura para el equipo utilizado en los recipientes de lixiviación.

Se han corregido también errores de forma.

En aras de la claridad, se reproduce en el apéndice el texto completo de la lista inicial modificada.

---

<sup>1</sup> La Unión Europea participa en calidad de observador permanente.

Los Gobiernos antes mencionados han decidido actuar de acuerdo con los entendimientos así revisados y aplicarlos de conformidad con sus respectivas legislaciones nacionales. Al igual que en el pasado, cada uno de esos Gobiernos se reserva el derecho de ejercer discreción con respecto a la interpretación y aplicación de los procedimientos establecidos en los documentos mencionados *supra*, así como el derecho de controlar, si lo considerara oportuno, la exportación de artículos pertinentes que no sean los especificados en el apéndice antes mencionado.

En lo que respecta al comercio dentro de la Unión Europea, los Gobiernos de países que son Estados Miembros de la Unión Europea aplicarán esta decisión teniendo en cuenta sus compromisos como Estados Miembros de la Unión.

Le agradecería que pudiese poner en conocimiento de todos los Estados Miembros del OIEA el texto de la presente nota y su apéndice como documento INFCIRC/209/Rev. 5.

En nombre de los Gobiernos antes mencionados, aprovecho esta oportunidad para reiterarle la seguridad de su más alta consideración.

Le saluda atentamente,

[firmado]

Louise Flugger Callesen

Presidenta del Comité Zangger

# LISTA INICIAL CONSOLIDADA

## MEMORANDO A

### 1. INTRODUCCIÓN

El Gobierno ha examinado los procedimientos relativos a las exportaciones de materiales nucleares teniendo en cuenta su compromiso de no proporcionar materiales fisionables básicos o especiales a Estados no poseedores de armas nucleares con fines pacíficos a menos que los materiales fisionables básicos o especiales estén sujetos a las salvaguardias en virtud de un acuerdo con el Organismo Internacional de Energía Atómica.

### 2. DEFINICIÓN DE MATERIALES FISIONABLES BÁSICOS Y ESPECIALES

La definición de materiales fisionables básicos y especiales que apruebe el Gobierno será la que figura en el artículo XX del Estatuto del Organismo:

a) “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.

b) “MATERIALES FISIONABLES ESPECIALES”

i) Se entiende por “materiales fisionables especiales” el plutonio 239 ( $^{239}\text{Pu}$ ); el uranio 233 ( $^{233}\text{U}$ ); el uranio enriquecido en los isótopos 235 o 233; cualquier material que contenga uno o varios de los elementos citados; y los demás materiales fisionables que la Junta de Gobernadores determine en su oportunidad; no obstante, la expresión “materiales fisionables 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.

### 3. APLICACIÓN DE LAS SALVAGUARDIAS

El Gobierno es únicamente responsable de asegurar, cuando proceda, la aplicación de las salvaguardias en los Estados no poseedores de armas nucleares que no son Partes en el Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares (TNP) con miras a impedir la desviación de los materiales nucleares salvaguardados de fines pacíficos a la producción de armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos. Si el Gobierno desea suministrar materiales fisionables básicos o especiales con fines pacíficos a ese Estado, deberá:

- a) Especificar al Estado receptor, como condición para el suministro de los materiales fisionables básicos o los materiales fisionables especiales producidos en él o mediante el uso que ha hecho de ellos, que esos materiales no serán desviados a la producción de armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos; y
- b) Cerciorarse de que, con ese fin, se aplicarán salvaguardias a los materiales fisionables básicos o especiales de que se trate en virtud de un acuerdo con el Organismo y de conformidad con su sistema de salvaguardias.

#### **4. EXPORTACIONES DIRECTAS**

En el caso de las exportaciones directas de materiales fisionables básicos o especiales a Estados no poseedores de armas nucleares no partes en el TNP, el Gobierno se cerciorará, antes de autorizar la exportación de los materiales respectivos, de que esos materiales estarán sometidos a un acuerdo de salvaguardias con el Organismo tan pronto el Estado receptor asuma la responsabilidad de los materiales, pero no después que los materiales lleguen a su destino.

#### **5. NUEVAS TRANSFERENCIAS**

Al exportar materiales fisionables básicos o especiales a un Estado poseedor de armas nucleares que no es Parte en el TNP, el Gobierno pedirá que se le den garantías satisfactorias de que los materiales no serán reexportados a un Estado no poseedor de armas nucleares que no sea Parte en el TNP a menos que se adopten las disposiciones correspondientes a los materiales antes mencionados para que el Estado receptor de esa reexportación acepte la aplicación de las salvaguardias.

#### **6. DIVERSOS**

Las exportaciones de los artículos especificados en el apartado a) *infra*, y las exportaciones de materiales fisionables básicos o especiales a un país determinado en un período de un año natural (del 1 de enero al 31 de diciembre), en cantidades inferiores a los límites especificados en el apartado b) *infra*, no se tomarán en cuenta a los efectos de los procedimientos antes descritos:

- a) Plutonio con una concentración isotópica de plutonio 238 ( $^{238}\text{Pu}$ ) superior al 80 %; materiales fisionables especiales cuando se utilicen en cantidades del orden del gramo o menores como elementos sensores en instrumentos; y materiales básicos que el Gobierno compruebe a su satisfacción que van a utilizarse únicamente en actividades no nucleares, como la producción de aleaciones o de materiales cerámicos:
- b) Materiales fisionables especiales 50 gramos efectivos;  
Uranio natural 500 kilogramos;  
Uranio empobrecido 1000 kilogramos; y  
Torio 1000 kilogramos.

## **MEMORANDO B**

### **1. INTRODUCCIÓN**

El Gobierno ha examinado los procedimientos relativos a las exportaciones de determinadas categorías de equipo y materiales teniendo en cuenta su compromiso de no proporcionar equipo o materiales especialmente diseñados o preparados para el procesamiento, uso o producción de materiales fisiónables especiales a Estados no poseedores de armas nucleares con fines pacíficos, a menos que los materiales fisiónables básicos o especiales producidos, procesados o utilizados en el equipo o los materiales de que se trate estén sujetos a salvaguardias en virtud de un acuerdo con el Organismo Internacional de Energía Atómica.

### **2. DESIGNACIÓN DE EQUIPO Y MATERIALES ESPECIALMENTE DISEÑADOS O PREPARADOS PARA EL PROCESAMIENTO, USO O PRODUCCIÓN DE MATERIALES FISIONABLES ESPECIALES**

La designación de los elementos de equipo o materiales especialmente diseñados o preparados para el procesamiento, uso o producción de materiales fisiónables especiales (denominada en adelante la “lista inicial”) aprobada por el Gobierno es la que figura a continuación (considerándose insignificantes, a efectos prácticos, las cantidades inferiores a los valores indicados en el anexo):

2.1. Reactores nucleares y equipo especialmente concebido o preparado y componentes para los mismos (véase la sección 1 del anexo);

2.2. Materiales no nucleares para reactores (véase la sección 2 del anexo);

2.3. Plantas para el reprocesamiento de elementos combustibles irradiados, y equipo especialmente diseñado o preparado para dicha operación (véase la sección 3 del anexo);

2.4. Plantas para la fabricación de elementos combustibles, y equipo especialmente diseñado o preparado para ese fin (véase la sección 4 del anexo);

2.5. Plantas para la separación de isótopos del uranio natural, uranio empobrecido o material fisiónable especial y equipo, distinto de los instrumentos de análisis, especialmente concebido o preparado para ese fin (véase la sección 5 del anexo);

#### **NOTA EXPLICATIVA**

El Gobierno reconoce la estrecha relación que existe, con respecto a determinados procesos de separación isotópica, entre las instalaciones y el equipo que se utilizan en el enriquecimiento del uranio y los dedicados a la separación de isótopos estables para actividades de investigación, aplicaciones médicas y otras finalidades industriales no nucleares. A este respecto, el Gobierno debe examinar cuidadosamente sus disposiciones jurídicas relativas a las actividades de separación de isótopos estables, con inclusión de los reglamentos de concesión de licencias y las prácticas de seguridad, para garantizar que se apliquen debidamente las medidas de protección apropiadas. El Gobierno reconoce que, en determinados casos, las medidas de protección apropiadas para las actividades de separación de isótopos estables serán esencialmente las mismas que las aplicables al enriquecimiento del uranio. (Véase la nota introductoria de la sección 5 del anexo de la lista inicial).

2.6. Plantas para la producción o la concentración de agua pesada, deuterio y compuestos de deuterio y equipo especialmente diseñado o preparado para ese fin (véase la sección 6 del anexo).

2.7. Plantas para la conversión de uranio y plutonio para su utilización en la fabricación de elementos combustibles y la separación de isótopos del uranio, según se define en las secciones 4 y 5 respectivamente, y equipo especialmente diseñado o preparado para ese fin (véase la sección 7 del anexo).

### **3. APLICACIÓN DE LAS SALVAGUARDIAS**

El Gobierno es únicamente responsable de asegurar, cuando proceda, la aplicación de las salvaguardias en los Estados no poseedores de armas nucleares que no son Partes en el Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares (TNP) con miras a impedir la desviación de los materiales nucleares salvaguardados de fines pacíficos a la producción de armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos. Si el Gobierno desea suministrar artículos de la lista inicial con fines pacíficos a ese Estado, deberá:

- a) Especificar al Estado receptor, como condición para el suministro, que los materiales fisionables básicos o especiales producidos, procesados o utilizados en la instalación para la que se suministran los artículos no serán desviados a la producción de armas u otros dispositivos nucleares explosivos; y
- b) Cerciorarse de que, con ese fin, se aplicarán salvaguardias a los materiales fisionables básicos o especiales de que se trate en virtud de un acuerdo con el Organismo y de conformidad con su sistema de salvaguardias.

### **4. EXPORTACIONES DIRECTAS**

En el caso de las exportaciones directas a Estados no poseedores de armas nucleares que no son Partes en el TNP, el Gobierno se cerciorará de que, antes de autorizar la exportación del equipo o los materiales de que se trate, ese equipo y esos materiales estén sometidos a un acuerdo de salvaguardias con el Organismo.

### **5. NUEVAS TRANSFERENCIAS**

Al exportar artículos incluidos en la lista inicial, el Gobierno pedirá que se le den garantías satisfactorias de que los artículos no serán reexportados a un Estado no poseedor de armas nucleares que no sea Parte en el TNP a menos que se adopten las disposiciones correspondientes a dichos artículos para que el Estado receptor de esa reexportación acepte la aplicación de las salvaguardias.

### **6. DIVERSOS**

El Gobierno se reserva el derecho de ejercer discreción con respecto a la interpretación y aplicación de su compromiso establecido en el párrafo 1 *supra*, así como el derecho de exigir, si lo desea, las salvaguardias antedichas en relación con los artículos que exporta además de los especificados en el párrafo 2 *supra*.

**ANEXO**  
**ACLARACIONES SOBRE LOS ARTÍCULOS**  
**CONSIGNADOS EN LA LISTA INICIAL**  
**(conforme a las designaciones indicadas**  
**en la sección 2 del Memorando B)**

**1. Reactores nucleares y equipo especialmente diseñado o preparado y componentes para los mismos**

NOTA INTRODUCTORIA

Es posible caracterizar los diversos tipos de reactores nucleares según el moderador que emplean (por ejemplo, grafito, agua pesada, agua ligera, ninguno), el espectro de neutrones que contienen (por ejemplo, térmicos, rápidos), el tipo de refrigerante que utilizan (por ejemplo, agua, metal líquido, sales fundidas, gas), o su función o tipo (por ejemplo, reactores de potencia, reactores de investigación, reactores de ensayo). Se pretende que todos estos tipos de reactor nuclear queden dentro del alcance de esta entrada y sus subentradas, según corresponda. En ella no se incluyen los reactores de fusión.

**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.

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.

EXPORTACIONES

La exportación del conjunto completo de artículos principales comprendidos dentro de este concepto tendrá lugar únicamente de conformidad con los procedimientos expuestos en el Memorando. Los distintos artículos comprendidos dentro de este concepto funcionalmente definido que habrán de exportarse únicamente de conformidad con los procedimientos expuestos en el Memorando se enumeran en los párrafos 1.2 a 1.11. De conformidad con el párrafo 6 del Memorando, el Gobierno se reserva el derecho de aplicar los procedimientos expuestos en el Memorando a otros artículos comprendidos dentro de este concepto funcionalmente definido.

**1.2. Vasijas de reactores nucleares**

Vasijas metálicas, o piezas importantes fabricadas en taller para las mismas, especialmente diseñadas o preparadas para contener el núcleo de un reactor nuclear conforme se define en el anterior párrafo 1.1, así como dispositivos interiores del reactor, conforme se definen en el siguiente párrafo 1.8.

#### NOTA EXPLICATIVA

El párrafo 1.2 abarca las vasijas de reactores nucleares independientemente de su potencia nominal e incluye las vasijas de presión y las calandrias. La tapa de la vasija del reactor queda comprendida en el concepto indicado en el párrafo 1.2 como pieza importante fabricada en taller para una vasija de reactor.

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

Equipo de manipulación especialmente diseñado o preparado para insertar o extraer el combustible en un reactor nuclear conforme se define en el anterior párrafo 1.1.

#### NOTA EXPLICATIVA

Con los artículos anteriormente indicados es posible cargar el combustible con el reactor en funcionamiento o utilizar características de disposición o alineación técnicamente complejas que permitan realizar operaciones complicadas de carga de combustible con el reactor parado tales como aquellas en las que normalmente no es posible la visión directa del combustible o el acceso a este.

### **1.4. Barras y equipo de control para reactores nucleares**

Barras especialmente diseñadas o preparadas, estructuras de apoyo o suspensión de las mismas, mecanismos de accionamiento de barras o tubos de guía de barras para el control del proceso de fisión en un reactor nuclear conforme se define en el anterior párrafo 1.1.

### **1.5. Tubos de presión de reactores nucleares**

Tubos especialmente diseñados o preparados para contener los elementos combustibles y el refrigerante primario en un reactor nuclear conforme se define en el anterior párrafo 1.1.

#### NOTA EXPLICATIVA

Los tubos de presión son elementos de los canales de combustible que funcionan a presiones elevadas, a veces por encima de los 5 MPa.

### **1.6. Vainas de combustible nuclear**

Circonio metálico y aleaciones de circonio en forma de tubos o conjuntos de tubos, especialmente diseñados o preparados para su utilización en forma de vainas de combustible en un reactor conforme se define en el anterior párrafo 1.1, y en cantidades superiores a 10 kg.

N.B.: Para los tubos de presión de circonio véase 1.5. Para los tubos de calandria de circonio véase 1.8.

#### NOTA EXPLICATIVA

Los tubos de circonio metálico y los tubos de aleaciones de circonio para su utilización en un reactor nuclear contienen un circonio en el que la razón hafnio/circonio por regla general es inferior a 1:500 partes en peso.

## 1.7. Bombas o circuladores del refrigerante primario

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

### NOTA EXPLICATIVA

Las bombas o los circuladores especialmente diseñados o preparados comprenden bombas para reactores refrigerados por agua, circuladores para reactores refrigerados por gas, y bombas electromagnéticas y mecánicas para reactores refrigerados por metal líquido. Este equipo puede comprender bombas dotadas de 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 con la subsección NB (componentes de la Clase 1) de la sección III, división I, del Código de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) o normas equivalentes.

## 1.8. Dispositivos interiores de reactores nucleares

“Dispositivos interiores de reactores nucleares” especialmente diseñados o preparados para su utilización en un reactor nuclear conforme se define en el anterior párrafo 1.1. Se incluyen aquí, por ejemplo, los pilares de apoyo para el núcleo, canales de combustible, tubos de calandria, blindajes térmicos, placas deflectoras, placas para el reticulado del núcleo y placas difusoras.

### NOTA EXPLICATIVA

Los “dispositivos interiores de reactores nucleares” son estructuras importantes situadas dentro de la vasija del reactor que tienen una o varias funciones tales como servir de soporte al núcleo, mantener la alineación del combustible, dirigir el flujo del refrigerante primario, proporcionar blindaje radiológico para la vasija del reactor y guiar la instrumentación intranuclear.

## 1.9. Intercambiadores de calor

a) Generadores de vapor especialmente diseñados o preparados para el circuito primario, o intermedio, de refrigeración de un reactor nuclear conforme se define en el anterior párrafo 1.1.

b) Otros intercambiadores de calor especialmente diseñados o preparados para el circuito primario de refrigeración de un reactor nuclear conforme se define en el anterior párrafo 1.1.

### NOTA EXPLICATIVA

Los generadores de vapor están especialmente diseñados o preparados para transferir el calor generado en el reactor al agua de alimentación para la generación de vapor. En el caso de un reactor rápido en el que existe también un circuito de refrigeración intermedio, el generador de vapor se encuentra en el circuito intermedio.

En un reactor refrigerado por gas se puede utilizar un intercambiador de calor para transferir el calor a un circuito de gas secundario que impulse una turbina de gas.

El alcance del control de este epígrafe no comprende los intercambiadores de calor de los sistemas de apoyo del reactor (por ejemplo, el sistema de refrigeración de emergencia o el sistema de refrigeración del calor de desintegración).

### 1.10. Detectores de neutrones

Detectores de neutrones especialmente diseñados o preparados para determinar los niveles de flujo neutrónico dentro del núcleo de un reactor conforme se define en el anterior párrafo 1.1.

#### NOTA EXPLICATIVA

Este epígrafe comprende detectores intranucleares y extranucleares que miden los niveles de flujo en un amplio intervalo, característicamente de  $10^4$  neutrones por  $\text{cm}^2$  por segundo o más. Por extranuclear se entiende la instrumentación situada fuera del núcleo de un reactor conforme se define en el anterior párrafo 1.1, pero situada en el interior del blindaje biológico.

### 1.11. Blindajes térmicos externos

“Blindajes térmicos externos” especialmente diseñados o preparados para su utilización en un reactor nuclear conforme se define en el párrafo 1.1 para reducir la pérdida de calor, así como para proteger la vasija de contención.

#### NOTA EXPLICATIVA

Los “blindajes térmicos externos” son estructuras importantes dispuestas sobre la vasija del reactor que reducen la pérdida de calor del reactor y reducen la temperatura en el interior de la vasija de contención.

## 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 1:5000, para su utilización en un reactor nuclear conforme se define en el anterior párrafo 1.1, en cantidades que excedan de 200 kg de átomos de deuterio, para un mismo país receptor en un mismo período de un año natural (del 1 de enero al 31 de diciembre).

### 2.2. Grafito de pureza nuclear

Grafito con un nivel de pureza superior a 5 ppm (partes por millón) de boro equivalente y con una densidad superior a  $1,50 \text{ g/cm}^3$ , para su utilización en un reactor nuclear conforme se define en el anterior párrafo 1.1, en cantidades que excedan de 1 kg.

#### NOTA EXPLICATIVA

Al efecto de controlar las exportaciones, el Gobierno determinará si las exportaciones de grafito que cumplan las especificaciones anteriores son o no para ser utilizadas en un reactor nuclear. Este párrafo no se aplica al grafito con un nivel de pureza superior a 5 ppm (partes por millón) de boro equivalente y con una densidad superior a  $1,50 \text{ g/cm}^3$ , no previsto para su utilización en un reactor nuclear conforme se define en el anterior párrafo 1.1.

El boro equivalente (BE) puede determinarse experimentalmente o se calcula como la suma de  $BE_Z$  para impurezas (excluido el  $BE_{\text{carbono}}$  dado que el carbono no se considera una impureza) incluido el boro, donde:

$BE_Z$  (ppm) = CF x concentración del elemento Z (en ppm); CF es el factor de conversión:  $(\sigma_Z \times AB)$  dividido por  $(\sigma_B \times AZ)$ ;  $\sigma_B$  y  $\sigma_Z$  son las secciones eficaces de captura de neutrones térmicos (en barnios) para el boro natural y el elemento Z, respectivamente; y AB y AZ son las masas atómicas del boro natural y del elemento Z, respectivamente.

### **3. Plantas para el reprocesamiento de elementos combustibles irradiados, y equipo especialmente concebido o preparado para dicha operación**

#### NOTA INTRODUCTORIA

En el reprocesamiento del combustible nuclear irradiado, el plutonio y el uranio se separan de los productos de fisión intensamente radiactivos y de otros elementos transuránicos. Esta separación puede lograrse mediante diferentes procesos técnicos. Sin embargo, al cabo de cierto número de años el proceso Purex ha llegado a ser el más utilizado y aceptado. Este proceso entraña la disolución del combustible nuclear irradiado en ácido nítrico, a la que sigue la separación del uranio, el plutonio y los productos de la fisión mediante la extracción con disolventes empleando una mezcla de fosfato de tributilo en un diluyente orgánico.

Las instalaciones Purex tienen funciones de proceso similares entre sí, incluidas las siguientes: desenvainado y/o troceado de los elementos combustibles irradiados, lixiviación del combustible, extracción con disolventes y almacenamiento de licores de proceso. Puede haber asimismo equipo para la desnitrificación térmica del nitrato de uranio, la conversión del nitrato de plutonio en óxido o metal, y el tratamiento del licor de desecho de los productos de fisión para darle forma que se preste al almacenamiento por largo plazo o a la disposición final. No obstante, el tipo y la configuración específicos del equipo destinado a estas operaciones pueden diferir entre unas instalaciones Purex y otras, y ello por varias razones, incluidos el tipo y cantidad del combustible nuclear irradiado que se ha de reprocesar y el destino que se quiera dar a los materiales recuperados, además de las consideraciones de seguridad y de mantenimiento que hayan orientado el diseño de cada instalación.

Una “planta para el reprocesamiento de elementos combustibles irradiados” comprende 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 de plutonio y la producción de plutonio metal, pueden identificarse mediante las medidas adoptadas para evitar la criticidad (p. ej., mediante la geometría), la exposición a las radiaciones (p. ej., mediante el blindaje) y los riesgos de toxicidad (p. ej., mediante la contención).

#### EXPORTACIONES

La exportación del conjunto completo de artículos principales comprendidos dentro de este concepto tendrá lugar únicamente de conformidad con los procedimientos expuestos en el Memorando. De conformidad con el párrafo 6 del Memorando, el Gobierno se reserva el derecho de aplicar los procedimientos expuestos en el Memorando a otros artículos comprendidos dentro de este concepto funcionalmente definido.

Los artículos que se consideran incluidos en la frase “y equipo especialmente diseñado o preparado” para el reprocesamiento de elementos combustibles irradiados comprenden:

### **3.1. Equipo de desenvainado y troceadores de elementos combustibles irradiados**

Equipo teleaccionado especialmente diseñado o preparado para su utilización en una planta de reprocesamiento conforme se describe anteriormente y destinado a exponer o preparar el material nuclear en conjuntos, haces o barras o varillas de combustible para su procesamiento.

#### **NOTA EXPLICATIVA**

Este equipo trocea, corta, cizalla o rompe de alguna otra forma la vaina del elemento combustible para exponer el material nuclear irradiado para su procesamiento o prepara el combustible para su procesamiento. Para esta operación suelen emplearse cizallas de diseño especial, aunque puede utilizarse equipo avanzado, como los láseres, máquinas peladoras u otras técnicas, por ejemplo. Para el desenvainado es necesario retirar la vaina del combustible nuclear irradiado antes de su lixiviación.

### **3.2. Recipientes de lixiviación**

Vasijas de lixiviación o recipientes de lixiviación que emplean aparatos mecánicos especialmente diseñados o preparados para su utilización en una planta de reprocesamiento conforme se describe anteriormente, destinados a la operación de disolución de combustible nuclear irradiado, capaces de resistir la presencia de un líquido a alta temperatura y muy corrosivo, y que pueden ser teleaccionados para su carga, manejo y mantenimiento.

#### **NOTA EXPLICATIVA**

Los recipientes de lixiviación suelen recibir el combustible nuclear sólido irradiado. Los combustibles nucleares con vainas fabricadas de materiales como el circonio, el acero inoxidable o aleaciones de esos materiales deben desenvainarse y/o cizallarse o cortarse antes de cargarse en el recipiente de lixiviación, para permitir que el ácido llegue a la matriz de combustible. El combustible nuclear irradiado normalmente se disuelve en ácidos minerales fuertes, como el ácido nítrico, y toda vaina no disuelta se retira. Si bien se pueden utilizar algunas características del diseño, como un diámetro pequeño, tanques anulares o de placas, para garantizar la seguridad con respecto a la criticidad, estas no son absolutamente necesarias. En su lugar, se pueden aplicar controles administrativos como un lote pequeño o bajo contenido de material fisible. Las vasijas de lixiviación y los recipientes de lixiviación que emplean aparatos mecánicos suelen estar fabricados en materiales como acero inoxidable con bajo contenido de carbono, titanio o circonio, u otros materiales de alta calidad. Los recipientes de lixiviación pueden incluir sistemas para retirar la vaina o los desechos de las vainas y sistemas para el control y el tratamiento de efluentes gaseosos radiactivos. Estos recipientes de lixiviación pueden tener características para su ubicación a distancia, dado que normalmente se procede a su carga, manejo y mantenimiento detrás de un blindaje espeso.

### **3.3. Extractores mediante disolvente y equipo para la extracción con disolventes**

Extractores por disolvente especialmente diseñados o preparados, como por ejemplo columnas pulsantes o de relleno, mezcladores-sedimentadores, o contactores centrífugos para su utilización en una planta de reprocesamiento de combustible irradiado. Los extractores por disolvente deben ser resistentes a los efectos corrosivos del ácido nítrico. Los extractores por disolvente suelen construirse con arreglo a normas sumamente estrictas (incluso soldaduras especiales y técnicas especiales de inspección, control de calidad y garantía de calidad) con aceros inoxidables al carbono, titanio, circonio u otros materiales de alta calidad.

## NOTA EXPLICATIVA

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 con disolventes suele diseñarse para cumplir parámetros de operación rigurosos, como vida operacional prolongada sin necesidad de mantenimiento, o bien gran sustituibilidad, sencillez de funcionamiento y de regulación, y flexibilidad frente a las variaciones de las condiciones del proceso.

### 3.4. Recipientes de retención o almacenamiento químico

Recipientes de retención o de almacenamiento especialmente diseñados o preparados para su utilización en plantas de reprocesamiento de combustible irradiado. Los recipientes de retención o almacenamiento deben ser resistentes al efecto corrosivo del ácido nítrico. Suelen construirse con materiales tales como aceros inoxidable de bajo contenido de carbono, titanio, circonio, u otros materiales de alta calidad. Los recipientes de retención 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 %;
- 2) Un diámetro máximo de 175 mm en el caso de recipientes cilíndricos; o bien
- 3) Un ancho máximo de 75 mm en el caso de recipientes anulares o planos.

## NOTA EXPLICATIVA

De la etapa de extracción mediante disolvente se derivan tres circuitos principales de licor de proceso. Para el tratamiento ulterior de todos estos circuitos se emplean recipientes de retención o almacenamiento, de la manera siguiente:

- a) La solución de nitrato de uranio puro se concentra por evaporación y se hace pasar a un proceso de desnitrificación en el que se convierte en óxido de uranio. Este óxido se reutiliza en el ciclo del combustible nuclear.
- b) La solución de productos de fisión intensamente radiactivos 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 disposición final.
- c) La solución de nitrato de plutonio puro se concentra y se almacena en espera de su transferencia a etapas posteriores del proceso. En particular, los recipientes de retención o almacenamiento destinados a las soluciones de plutonio están diseñados para evitar problemas de criticidad resultantes de cambios en la concentración y en la forma de este circuito.

### 3.5. Sistemas de medición de neutrones para el control de procesos

Sistemas de medición de neutrones especialmente diseñados o preparados para su integración y empleo con sistemas automáticos de control de procesos en una central destinada al reprocesamiento de elementos combustibles irradiados.

#### NOTA EXPLICATIVA

Estos sistemas permiten la medición de neutrones activa y pasiva y la discriminación a fin de determinar la cantidad y la composición de material fisible. El sistema completo se compone de un generador de neutrones, un detector de neutrones, amplificadores y sistemas electrónicos de procesamiento de señales.

El alcance de esta entrada no abarca la detección de neutrones ni los instrumentos de medición diseñados para la contabilidad de materiales nucleares y la salvaguardia u otras aplicaciones que no estén relacionadas con la integración y la utilización con sistemas automáticos de control de procesos en una planta para el reprocesamiento de elementos combustibles irradiados.

### **4. Plantas para la fabricación de elementos combustibles para reactores nucleares, y equipo especialmente diseñado o preparado para dicha operación**

#### NOTA INTRODUCTORIA

Los elementos combustibles nucleares se fabrican de uno o más de los materiales básicos o fisionables especiales mencionados en la parte A del presente anexo. Para los combustibles a base de óxidos, el tipo de combustible más corriente, existirá equipo de prensado de las pastillas, de sinterización, de molienda y de granulometría. Los combustibles de mezcla de óxidos se manipulan en cajas de guantes (o una contención equivalente) hasta que se sellan en las vainas. En todos los casos, el combustible se sella herméticamente en vainas adecuadas diseñadas para constituir la envolvente primaria de encapsulación del combustible de modo que se logre el comportamiento y la seguridad adecuados durante la explotación del reactor. También es necesario en todos los casos un control exacto de los procesos, procedimientos y equipo con sujeción a normas sumamente estrictas para tener la certeza de un comportamiento previsible y seguro del combustible.

#### NOTA EXPLICATIVA

Los elementos de equipo que se consideran incluidos en la frase “y equipo especialmente diseñado o preparado” para la fabricación de elementos combustibles comprenden:

- a) el equipo que normalmente está en contacto directo con la corriente de producción de materiales nucleares o que se emplea directamente para el tratamiento o control de dicha corriente, o bien;
- b) el equipo empleado para encerrar el material nuclear dentro de su vaina;
- c) el equipo que verifica la integridad de las vainas o del sellado;
- d) el equipo que verifica el tratamiento de acabado del combustible sellado; o bien
- e) el equipo que se emplea para ensamblar elementos combustibles para reactores.

Dicho equipo o sistemas de equipo pueden comprender, por ejemplo:

- 1) Estaciones totalmente automáticas de inspección de pastillas especialmente diseñadas o preparadas para verificar las dimensiones finales y los defectos superficiales de las pastillas de combustible;

- 2) Máquinas de soldadura automáticas especialmente diseñadas o preparadas para soldar las tapas del extremo de las varillas (o barras) de combustible;
- 3) Estaciones automáticas de ensayo e inspección especialmente diseñadas o preparadas para verificar la integridad de las varillas (o barras) de combustible completas;
- 4) Sistemas especialmente diseñados o preparados para la fabricación de vainas de combustible nuclear.

El artículo 3 comprende normalmente: a) equipo de examen por rayos X para examinar las soldaduras de las tapas de los extremos de las varillas (o barras), b) equipo de detección de fugas de helio de varillas (o barras) a presión, y c) equipo de explotación por rayos gamma de las varillas (o barras) para verificar la carga correcta de las pastillas de combustible en su interior.

## **5. Plantas para la separación de isótopos del uranio natural, uranio empobrecido o material fisiónable especial y equipo, distinto de los instrumentos de análisis, especialmente diseñado o preparado para ese fin**

### NOTA INTRODUCTORIA

Las instalaciones y el equipo que se utilizan en la separación isotópica del uranio tienen, en muchos casos, estrechas relaciones con los dedicados a la separación de isótopos estables. Por consiguiente, en determinados casos los controles previstos en la sección 5 también se aplican a instalaciones y equipo que se utilizan en la separación de isótopos estables. Estos controles complementan a los que se aplican a las instalaciones y el equipo especialmente diseñados o preparados para el tratamiento, el uso o la producción de material fisiónable especial abarcado en la lista inicial. Estos controles complementarios de la sección 5 relativos a la utilización de los isótopos estables no se aplican al equipo basado en el proceso de separación electromagnética de isótopos.

Los procesos a los que se aplican los controles de la sección 5 que se prevea utilizar ya sea para la separación isotópica del uranio o bien para la separación de isótopos estables, son los siguientes: centrifugadora de gas, difusión gaseosa, proceso de separación en un plasma y procesos aerodinámicos.

En algunos procesos, la relación con la separación isotópica del uranio depende del elemento (isótopo estable) que haya de separarse. Se trata de los procesos siguientes: procesos basados en rayos láser (p. ej., la separación isotópica por láser de moléculas y la separación isotópica por láser en vapor atómico), el intercambio químico y el intercambio iónico. Por consiguiente, los Gobiernos deben evaluar estos procesos caso por caso para aplicar los controles de la sección 5 relativos a la utilización de los isótopos estables.

Los elementos de equipo que se consideran incluidos en la frase “equipo, distinto de los instrumentos de análisis, especialmente diseñado o preparado” 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 de paredes delgadas, de un diámetro de 75 mm a 650 mm, 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 diversos componentes, deben construirse 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 y en forma de disco y un sistema de tubo estacionario para alimentar y extraer el gas de hexafluoruro de uranio ( $UF_6$ ), consistente en 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 contenido en el medio vacío se encuentra un número de elementos importantes no rotatorios que, aunque de diseño especial, no son difíciles de fabricar ni están fabricados con materiales muy especiales. Sin embargo, una instalación de centrifugación necesita un gran número de estos componentes, de modo que su cantidad 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 más 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 tapas terminales 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 de rotores:

Cilindros de paredes delgadas especialmente diseñados o preparados, con un espesor de 12 mm o menos, un diámetro de 75 mm a 650 mm, y construidos con uno o más 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 o menos, un diámetro de 75 mm a 650 mm, de forma convolutiva, construidos 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 a 650 mm 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 gas de  $UF_6$  dentro de la cámara principal de separación del tubo rotor; están construidos con uno de los materiales de elevada razón resistencia/densidad descritos en la NOTA EXPLICATIVA de esta sección.

e) Tapas superiores/tapas inferiores:

Componentes en forma de disco de 75 mm a 650 mm 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 integrada, un elemento de soporte superior (tapa superior) o sostener los elementos rotatorios del motor y del soporte inferior (tapa inferior); están construidos 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 capacidad de resistencia límite a la tracción de 1,95 GPa o más;
- b) Aleaciones de aluminio con capacidad de resistencia límite a la tracción de 0,46 GPa o más;
- c) Materiales filamentosos apropiados para su utilización en estructuras compuestas y que poseen un módulo específico de  $3,18 \times 10^6$  m o mayor, y una resistencia límite a la tracción de  $7,62 \times 10^4$  m o más (“módulo específico” es el módulo de Young en N/m<sup>2</sup> dividido por el peso específico en N/m<sup>3</sup>; “Resistencia límite a la tracción específica” es la resistencia límite a la tracción en N/m<sup>2</sup> dividida por el peso específico en N/m<sup>3</sup>).

### 5.1.2. Componentes estáticos

a) Soportes magnéticos de suspensión:

1. Conjuntos de suspensión especialmente diseñados o preparados consistentes en un electroimán anular suspendido en una caja que contiene un medio amortiguador. La caja se construye con un material resistente al UF<sub>6</sub> (véase la NOTA EXPLICATIVA de la sección 5.2.). El imán se acopla con una pieza polo o con un segundo imán ajustado a la tapa superior descrita en la sección 5.1.1.e). El imán puede tener forma anular con una relación menor o igual a 1,6:1 entre el diámetro exterior y el interior. El imán puede presentar una forma con una permeabilidad inicial de 0,15 H/m o más, o una remanencia de 98,5 % o más, o un producto de energía de más de 80 kJ/m<sup>3</sup>. Además de las propiedades usuales de los materiales, es requisito indispensable que la desviación de los ejes magnéticos respecto de los geométricos se limite a muy pequeñas tolerancias (menos de 0,1 mm) y que la homogeneidad del material del imán sea muy elevada.
2. Soportes magnéticos activos especialmente diseñados o preparados para su empleo con centrifugadoras de gas.

## NOTA EXPLICATIVA

Estos soportes normalmente tienen las siguientes características:

- están diseñados para mantener centrado un rotor que gire a 600 Hz o más, y
- se asocian a una fuente de alimentación eléctrica fiable y/o a una fuente de suministro eléctrico no interrumpible (UPS) con el fin de que funcionen durante más de una hora.

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 en un extremo en forma de semiesfera y provista en el otro extremo de un medio de sujeción en la tapa inferior descrita en la sección 5.1.1 e). Este pivote también puede tener un soporte hidrodinámico. La copa es una pastilla configurada con una indentación semiesférica en una de sus superficies. Estos dos componentes se suministran a menudo independientemente 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 a 650 mm de diámetro interno; 10 mm o más de espesor de pared; longitud igual o mayor que el diámetro. Los surcos tienen generalmente sección transversal rectangular y 2 mm 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 a una frecuencia de 600 Hz o superior y una potencia de 40 VA o superior. Los estatores pueden consistir en embobinados multifásicos sobre un núcleo de hierro laminado de baja pérdida compuesto de finas capas de un espesor típico de 2,0 mm 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, tiene un espesor de la pared de hasta 30 mm, 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° o menos. La caja puede ser también una estructura alveolar para contener varios tubos rotores.

f) Paletas:

Tubos especialmente diseñados o preparados para la extracción del UF<sub>6</sub> gaseoso del tubo rotor por acción de un tubo de Pitot (es decir, con una abertura que desemboca en el flujo de gas periférico situado dentro del tubo rotor; esto se obtiene, por ejemplo, doblando el extremo de un tubo dispuesto radialmente) y capaces de conectarse al sistema central de extracción de gas.

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

### NOTA INTRODUCTORIA

Los sistemas, equipos y componentes auxiliares de una planta de enriquecimiento por centrifugación gaseosa son los que se necesitan en una instalación para introducir el UF<sub>6</sub> en las centrifugadoras, conectar las centrifugadoras entre sí para que formen cascadas (o etapas) que conduzcan a valores progresivamente elevados de enriquecimiento y extraer de ellas el “producto” y las “colas” de UF<sub>6</sub>; también se incluye en esta categoría el equipo necesario para impulsar las centrifugadoras o controlar la planta.

Normalmente, el UF<sub>6</sub> se evapora a partir de su fase sólida mediante la utilización de autoclaves y se distribuye a las centrifugadoras en forma gaseosa por medio de un sistema de tuberías provisto de cabezales y configurado en cascadas. Las corrientes de UF<sub>6</sub> gaseoso del “producto” y las “colas” fluyen, también por este 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 cascadas, hay también muchos kilómetros de tuberías con millares de soldaduras y una considerable repetición de configuraciones. El equipo, los componentes y los sistemas de tuberías se fabrican en entornos con un grado muy elevado de vacío y limpieza.

### NOTA EXPLICATIVA

Algunos de los artículos enumerados a continuación están en contacto directo con el gas UF<sub>6</sub> del proceso o controlan directamente las centrifugadoras y el paso del gas de unas a otras y de cascada a cascada. Entre los materiales resistentes a la corrosión por el UF<sub>6</sub> se incluyen el cobre, las aleaciones de cobre, el acero inoxidable, el aluminio, el óxido de aluminio, las aleaciones de aluminio, el níquel o las aleaciones que contienen el 60 % o más de níquel y polímeros de hidrocarburos fluorados.

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

Sistemas o equipo especialmente diseñados o preparados para plantas de enriquecimiento, fabricados o protegidos con materiales resistentes a la corrosión por el UF<sub>6</sub>, con inclusión de:

- a) Autoclaves, hornos o sistemas de alimentación utilizados para introducir el UF<sub>6</sub> en el proceso de enriquecimiento;
- b) Desublimadores, trampas frías o bombas utilizados para extraer el UF<sub>6</sub> del proceso de enriquecimiento para su transferencia subsiguiente después del calentamiento;
- c) Estaciones de solidificación o licuefacción utilizadas para extraer el UF<sub>6</sub> del proceso de enriquecimiento por compresión y conversión del UF<sub>6</sub> al estado líquido o sólido;
- d) Estaciones de “producto” o “colas” utilizadas para transferir el UF<sub>6</sub> a contenedores.

### 5.2.2. Sistemas de tuberías con cabezales configurados en cascadas

Sistemas de tuberías y cabezales especialmente diseñados o preparados para manipular el UF<sub>6</sub> en las centrifugadoras en cascada. Esta red de tuberías es normalmente del tipo de cabezal “triple” y cada centrifugadora se halla conectada a cada uno de los cabezales. Por lo tanto, su configuración se repite considerablemente. Está enteramente fabricada, o protegida, con materiales resistentes al UF<sub>6</sub> (véase la NOTA EXPLICATIVA de esta sección) y debe fabricarse de modo que se obtenga un grado muy elevado de vacío y de limpieza de trabajo.

### 5.2.3. Válvulas especiales de parada y control

- a) Válvulas de cierre especialmente diseñadas o preparadas para actuar en las corrientes gaseosas de UF<sub>6</sub> introducidas, el producto o las colas de una centrifugadora de gas.
- b) Válvulas de fuelle selladas de parada y de control, manuales o automáticas, fabricadas o protegidas con materiales resistentes a la corrosión por el UF<sub>6</sub>, con un diámetro interior de 10 mm a 160 mm, especialmente diseñadas o preparadas para su utilización en los sistemas principal y auxiliares de plantas de enriquecimiento por centrifugación gaseosa.

#### NOTA EXPLICATIVA

Las válvulas especialmente diseñadas o preparadas habituales son, entre otras, las válvulas de fuelle selladas, las de cierre de acción rápida, las de acción rápida y otras.

### 5.2.4. Espectrómetros de masas/fuentes de iones para UF<sub>6</sub>

Espectrómetros de masas especialmente diseñados o preparados para tomar muestras en línea de las corrientes de UF<sub>6</sub> gaseoso y que posean todas las características siguientes:

1. Capacidad de medir iones de 320 unidades de masa atómica o mayores, con una resolución mejor que 1 parte en 320;
2. Fuentes de iones fabricadas o protegidas con níquel, aleaciones de níquel-cobre con un contenido de níquel del 60 % en peso o más, o aleaciones de níquel-cromo;
3. Fuentes de ionización por bombardeo electrónico; y
4. Un sistema colector apropiado para el análisis isotópico.

### **5.2.5. Cambiadores de frecuencia**

Cambiadores 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 cambiadores de frecuencia que posean todas las características siguientes:

1. Una frecuencia multifásica de salida de 600 Hz o más; y
2. Elevada estabilidad (con control de frecuencia superior a 0,2 %).

### **5.3. Unidades y componentes especialmente diseñados o preparados para su utilización en procesos de 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 UF<sub>6</sub>, todo el equipo, las tuberías y las superficies de instrumentos (que entran en contacto con el gas) deben fabricarse con materiales que permanezcan estables al contacto con el UF<sub>6</sub>. Una instalación de difusión gaseosa requiere determinado número de unidades de este tipo, de modo que las cantidades pueden proporcionar indicaciones importantes respecto del uso final.

#### **5.3.1. Barreras de difusión gaseosa y materiales de barrera**

- a) Filtros finos especialmente diseñados o preparados, porosos, cuyos poros tengan un diámetro de 10 a 100 nm, un espesor de 5 mm o menos, y para aquellos de forma tubular, un diámetro de 25 mm o menos, fabricados con metales, polímeros o materiales cerámicos resistentes a la acción corrosiva del UF<sub>6</sub> (véase la NOTA EXPLICATIVA de la sección 5.4.).
- b) Compuestos sólidos o en polvo especialmente preparados para la manufactura de tales filtros. Estos compuestos y polvos incluyen el níquel o aleaciones que contengan un 60 % en peso o más de níquel, óxido de aluminio, o polímeros de hidrocarburos totalmente fluorados resistentes al UF<sub>6</sub>, cuya pureza sea del 99,9 % en peso o más, y con un tamaño de partículas inferior a 10 μm, y un alto grado de uniformidad en cuanto al tamaño de las partículas, especialmente preparados para la fabricación de barreras de difusión gaseosa.

#### **5.3.2. Cajas de difusores gaseosos**

Vasijas especialmente diseñadas o preparadas para contener la barrera de difusión gaseosa, fabricadas o protegidas con un material resistente al UF<sub>6</sub> (véase la NOTA EXPLICATIVA de la sección 5.4).

#### **5.3.3. Compresores y sopladores de gas**

Compresores o sopladores de gas especialmente diseñados o preparados, con un volumen de capacidad de succión de 1 m<sup>3</sup> por minuto o más de UF<sub>6</sub>, con una presión de descarga de hasta 500 kPa y diseñados para operaciones a largo plazo en contacto con UF<sub>6</sub> gaseoso, así como unidades autónomas de compresión o soplado de gas. Estos compresores y sopladores de gas presentan una relación de presión de entre 10:1 o menos y están hechos o recubiertos de materiales resistentes al UF<sub>6</sub> gaseoso (véase la NOTA EXPLICATIVA de la sección 5.4).

### **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 que se infiltre aire en la cámara interior del compresor o del soplador de gas que está llena de UF<sub>6</sub>. Normalmente tales obturadores están concebidos para una tasa de infiltración de gas separador inferior a 1 000 cm<sup>3</sup> por minuto.

### **5.3.5. Intercambiadores de calor para enfriamiento del UF<sub>6</sub>**

Intercambiadores de calor especialmente diseñados o preparados, fabricados o protegidos con materiales resistentes al UF<sub>6</sub> (véase la NOTA EXPLICATIVA de la sección 5.4), y concebidos para una tasa de cambio de presión por pérdida inferior a 10 Pa/h con una diferencia de presión de 100 kPa.

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

### **NOTA INTRODUCTORIA**

Los sistemas, equipos y componentes auxiliares para plantas de enriquecimiento por difusión gaseosa son los sistemas necesarios para introducir el UF<sub>6</sub> en los elementos de difusión gaseosa, conectar las unidades entre sí para formar cascadas (o etapas) que permitan el enriquecimiento progresivo y extraer de dichas cascadas el “producto” y las “colas” de UF<sub>6</sub>. Debido al elevado carácter inercial de las cascadas de difusión, cualquier interrupción en 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 muy precisa regulación automática del flujo de gas revisten la mayor importancia en una planta de difusión gaseosa. Todo ello redundará en la necesidad de equipar la planta con un gran número de sistemas especiales de medición, regulación y control.

Normalmente el UF<sub>6</sub> se evapora en cilindros colocados dentro de autoclaves y se distribuye en forma gaseosa al punto de entrada por medio de tuberías de alimentación en cascada. Las corrientes de UF<sub>6</sub> gaseoso correspondientes al “producto” y las “colas”, que fluyen de los puntos de salida de las unidades, son conducidas por medio de tuberías hacia trampas frías o hacia unidades de compresión, donde el gas de UF<sub>6</sub> es licuado 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, estas presentan muchos kilómetros de tubos de alimentación de cascada que a su vez presentan miles de soldaduras con un número considerable de repeticiones en su disposición. El equipo, los componentes y los sistemas de tuberías deben construirse de modo que se obtenga un muy elevado grado de vacío y de limpieza de trabajo.

### **NOTA EXPLICATIVA**

Los elementos de equipo que se enumeran a continuación entran en contacto directo con el UF<sub>6</sub> gaseoso o controlan de manera directa el flujo dentro de la cascada. Entre los materiales resistentes a la corrosión por el UF<sub>6</sub> se incluyen el cobre, las aleaciones de cobre, el acero inoxidable, el aluminio, el óxido de aluminio, las aleaciones de aluminio, el níquel o las aleaciones que contienen el 60 % o más de níquel y polímeros de hidrocarburos fluorados.

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

Sistemas o equipo especialmente diseñados o preparados para plantas de enriquecimiento, fabricados o protegidos con materiales resistentes a la corrosión por el UF<sub>6</sub>, con inclusión de:

- a) Autoclaves, hornos o sistemas de alimentación utilizados para introducir el UF<sub>6</sub> en el proceso de enriquecimiento;
- b) Desublimadores, trampas frías o bombas utilizados para extraer el UF<sub>6</sub> del proceso de enriquecimiento para su transferencia subsiguiente después del calentamiento;
- c) Estaciones de solidificación o licuefacción utilizadas para extraer el UF<sub>6</sub> del proceso de enriquecimiento por compresión y conversión del UF<sub>6</sub> al estado líquido o sólido;
- d) Estaciones de “producto” o “colas” usadas para transferir el UF<sub>6</sub> a contenedores.

#### **5.4.2. Sistemas de tubería de cabecera**

Sistemas de tubería y sistema de cabecera especialmente diseñados o preparados para transportar el UF<sub>6</sub> dentro de las cascadas de difusión gaseosa.

##### **NOTA EXPLICATIVA**

Normalmente, dicha red de tuberías forma parte del sistema de “doble” cabecera en el que cada celda está conectada a cada una de las cabeceras.

#### **5.4.3. Sistemas de vacío**

- a) Distribuidores de vacío, colectores de vacío y bombas de vacío, especialmente diseñados o preparados, cuya capacidad de succión sea de 5 m<sup>3</sup>/min o más.
- b) Bombas de vacío especialmente diseñadas para funcionar en medios de UF<sub>6</sub>, fabricadas o protegidas con materiales resistentes a la corrosión por el UF<sub>6</sub> (véase la NOTA EXPLICATIVA de esta sección). Dichas bombas pueden ser rotativas o impelentes, pueden tener desplazamiento y obturadores de fluorocarbono y pueden tener fluidos especiales activos.

#### **5.4.4. Válvulas especiales de parada y control**

Válvulas de fuelle selladas de parada y de control, manuales o automáticas, especialmente diseñadas o preparadas, fabricadas o protegidas con materiales resistentes a la corrosión por el UF<sub>6</sub> (véase la NOTA EXPLICATIVA de esta sección), para su instalación en los sistemas principal y auxiliares de plantas de enriquecimiento por difusión gaseosa.

#### **5.4.5. Espectrómetros de masas/fuentes de iones para UF<sub>6</sub>**

Espectrómetros de masas especialmente diseñados o preparados para tomar muestras en línea de las corrientes de UF<sub>6</sub> gaseoso y que posean todas las características siguientes:

1. Capacidad de medir iones de 320 unidades de masa atómica o mayores, con una resolución mejor que 1 parte en 320;
2. Fuentes de iones fabricadas o protegidas con níquel, aleaciones de níquel-cobre con un contenido de níquel del 60 % en peso o más, o aleaciones de níquel-cromo;
3. Fuentes de ionización por bombardeo electrónico; y
4. Un sistema colector apropiado para el análisis isotópico.

## **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<sub>6</sub> 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 son, entre otros, los recipientes cilíndricos que contienen los elementos especiales de separación (toberas o tubos vorticiales), los compresores de gas y los 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<sub>6</sub>, todo el equipo, las tuberías y las superficies de instrumentos (que entran en contacto con el gas) deben estar fabricados o protegidos con materiales que permanezcan estables en contacto con el UF<sub>6</sub>.

### NOTA EXPLICATIVA

Los artículos enumerados en esta sección entran en contacto directo con el UF<sub>6</sub> 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<sub>6</sub>. A los fines de la sección relativa a los artículos de enriquecimiento aerodinámico, los materiales resistentes a la corrosión por el UF<sub>6</sub> comprenden el cobre, las aleaciones de cobre, el acero inoxidable, el aluminio, el óxido de aluminio, las aleaciones de aluminio, el níquel o las aleaciones que contienen el 60 % en peso o más de níquel, y los polímeros de hidrocarburos fluorados.

#### **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, resistentes a la corrosión por el UF<sub>6</sub> 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 fabricados o protegidos con materiales resistentes a la corrosión por el UF<sub>6</sub>, 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 y sopladores de gas especialmente diseñados o preparados, fabricados o protegidos con materiales resistentes a la corrosión por la mezcla de UF<sub>6</sub>/gas portador (hidrógeno o helio).

#### **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 según se define en el anterior párrafo 5.5.3 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 que se llena con una mezcla de UF<sub>6</sub>/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<sub>6</sub>.

#### **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<sub>6</sub>, para alojar los tubos vorticiales o las toberas de separación.

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

Sistemas o equipo especialmente diseñados o preparados para plantas de enriquecimiento, fabricados o protegidos con materiales resistentes a la corrosión por el UF<sub>6</sub>, con inclusión de:

- a) Autoclaves, hornos o sistemas de alimentación utilizados para introducir el UF<sub>6</sub> en el proceso de enriquecimiento;
- b) Desublimadores (o trampas frías) utilizados para extraer el UF<sub>6</sub> del proceso de enriquecimiento para su transferencia subsiguiente después del calentamiento;
- c) Estaciones de solidificación o licuefacción utilizadas para extraer el UF<sub>6</sub> del proceso de enriquecimiento por compresión y conversión del UF<sub>6</sub> al estado líquido o sólido;
- d) Estaciones de “producto” o “colas” utilizadas para transferir el UF<sub>6</sub> a contenedores.

#### **5.5.8. Sistemas de tubería de cabecera**

Sistemas de tubería de cabecera fabricados o protegidos con materiales resistentes a la corrosión por el UF<sub>6</sub>, especialmente diseñados o preparados para manipular el UF<sub>6</sub> en el interior de las cascadas aerodinámicas. Normalmente, esta red de tuberías forma parte del sistema de “doble” cabecera en el que cada etapa o grupo de etapas está conectado a cada una de las cabeceras.

#### **5.5.9. Bombas y sistemas de vacío**

- a) Sistemas de vacío especialmente diseñados o preparados que comprenden distribuidores de vacío, colectores de vacío y bombas de vacío, y que han sido diseñados para trabajar en una atmósfera de UF<sub>6</sub>;
- b) Bombas de vacío especialmente diseñadas o preparadas para trabajar en una atmósfera de UF<sub>6</sub>, fabricadas o protegidas con materiales resistentes a la corrosión por el UF<sub>6</sub>. Estas bombas pueden estar dotadas de juntas de fluorocarbono y tener fluidos especiales de trabajo.

#### **5.5.10. Válvulas especiales de parada y control**

Válvulas de fuelle selladas de parada y de control, manuales o automáticas, especialmente diseñadas o preparadas, fabricadas o protegidas con materiales resistentes a la corrosión por

el UF<sub>6</sub>, con un diámetro de 40 mm o superior, para su instalación en los sistemas principal y auxiliares de plantas de enriquecimiento aerodinámico.

#### **5.5.11. Espectrómetros de masas/fuentes de iones para UF<sub>6</sub>**

Espectrómetros de masas especialmente diseñados o preparados para tomar muestras en línea de las corrientes de UF<sub>6</sub> gaseoso y que tengan todas las características siguientes:

1. Capacidad de medir iones de 320 unidades de masa atómica o mayores, con una resolución mejor que 1 parte en 320;
2. Fuentes de iones fabricadas o protegidas con níquel, aleaciones de níquel-cobre con un contenido de níquel del 60 % en peso o más, o aleaciones de níquel-cromo;
3. Fuentes de ionización por bombardeo electrónico;
4. Un sistema colector apropiado para el análisis isotópico.

#### **5.5.12. Sistemas de separación UF<sub>6</sub>/gas portador**

Sistemas especialmente diseñados o preparados para separar el UF<sub>6</sub> del gas portador (hidrógeno o helio).

##### NOTA EXPLICATIVA

Estos sistemas están diseñados para reducir el contenido de UF<sub>6</sub> 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 153 K (-120 °C) o inferiores;
- b) Unidades de refrigeración criogénicas capaces de alcanzar temperaturas de 153 K (-120 °C) o inferiores;
- c) Toberas de separación o tubos vorticiales para separar el UF<sub>6</sub> del gas portador; o
- d) Trampas frías para el UF<sub>6</sub> capaces de congelarlo.

#### **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 ocasionan 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 proceso por ciertos iones metálicos. Por tanto, se utilizan tuberías y columnas de plástico, revestidas de plástico (comprendidos polímeros de fluorocarbonos) 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 caliente 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, 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 protegen con materiales plásticos adecuados (por ejemplo, polímeros de hidrocarburos fluorados) o vidrio. Las columnas han sido diseñadas para que el tiempo de residencia correspondiente a una etapa sea normalmente de 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 que sean resistentes a la corrosión por las soluciones de ácido clorhídrico concentrado, los contactores normalmente se fabrican o protegen con materiales plásticos adecuados (por ejemplo, polímeros de hidrocarburos fluorados) o 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 proceso 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 polímeros de hidrocarburos fluorados, el sulfato de polifenilo o el poliéter sulfone y el grafito con un revestimiento de plástico e impregnado con resina.

#### 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 comprender el equipo 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;
- 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, entre ellos, resinas macrorreticulares porosas y/o estructuras peliculares en 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, incluso 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 fisicorresistentes 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 373 K (100 °C) y 473 K (200 °C).

### **5.6.7. Columnas de intercambio iónico (intercambio iónico)**

Columnas cilíndricas de más de 1000 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 373 K (100 °C) y 473 K (200 °C) y presiones superiores a 0,7 MPa.

### **5.6.8. Sistemas de reflujo (intercambio iónico)**

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

#### **NOTA EXPLICATIVA**

El proceso de enriquecimiento por intercambio iónico puede utilizar, por ejemplo, titanio trivalente ( $Ti^{3+}$ ) como catión reductor, caso en el cual 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, caso en el cual el sistema de oxidación regeneraría el  $Fe^{3+}$  por oxidación del  $Fe^{2+}$ .

### **5.7. Sistemas, equipo y componentes especialmente diseñados o preparados para ser utilizados 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, a veces mezclado con otro u otros gases. La nomenclatura corriente de los procesos es la siguiente:

- primera categoría - separación isotópica por láser en vapor atómico
- segunda categoría - separación isotópica molecular por láser, incluida una reacción química por activación láser isotópicamente selectiva.

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 selectiva o excitación/activación selectiva);
- b) Dispositivos para recoger el uranio metálico enriquecido o empobrecido como “producto” y “colas” en la primera categoría, y dispositivos para recoger los compuestos de uranio enriquecido y empobrecido como “producto” y “colas” en la segunda categoría;
- c) Sistemas láser del proceso para excitar selectivamente la especie uranio 235;
- 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, quizás sea necesario incorporar cierto número de tecnologías láser y de óptica láser que ya están disponibles.

#### 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, las aleaciones de cobre, el acero inoxidable, el aluminio, el óxido de aluminio, las aleaciones de aluminio, el níquel o las aleaciones que contengan el 60 % en peso o más de níquel y los polímeros de hidrocarburos fluorados.

#### **5.7.1. Sistemas de vaporización del uranio (métodos basados en el vapor atómico)**

Sistemas de vaporización del uranio metálico especialmente diseñados o preparados para su utilización en el enriquecimiento por láser.

#### NOTA EXPLICATIVA

Estos sistemas pueden contener cañones de haz electrónico y se diseñan para proporcionar en el blanco una potencia (de 1 kW o superior) suficiente para producir vapor de uranio metálico a una tasa requerida para la función de enriquecimiento por láser.

#### **5.7.2. Sistemas de manipulación del uranio metálico líquido o vaporizado y sus componentes (métodos basados en el vapor atómico)**

Sistemas de manipulación del uranio fundido, las aleaciones de uranio fundido o el vapor de uranio metálico especialmente diseñados o preparados para su utilización en el enriquecimiento por láser, o sus componentes especialmente diseñados o preparados con ese fin.

#### NOTA EXPLICATIVA

Los sistemas de manipulación del uranio metálico líquido pueden constar de crisoles y equipos de refrigeración de los crisoles. Los crisoles y otras partes del sistema que entran en contacto con el uranio fundido, las aleaciones de uranio fundido o el uranio metálico

vaporizado 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 o mezclas de estas sustancias.

### **5.7.3. Conjuntos colectores del “producto” y las “colas” de uranio metálico (métodos basados en el vapor atómico)**

Conjuntos colectores del “producto” y las “colas” especialmente diseñados o preparados para recolectar 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 (métodos basados en el vapor atómico)**

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 los conductos de 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 (métodos moleculares)**

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 (-123 °C) o menos, y que son resistentes a la corrosión por  $UF_6$ .

### **5.7.6. Colectores del “producto” o de las “colas” (métodos moleculares)**

Componentes o dispositivos especialmente diseñados o preparados para recoger material de producto de uranio o material de colas de uranio tras la iluminación con luz láser.

#### **NOTA EXPLICATIVA**

En un ejemplo de separación isotópica por láser de moléculas, los colectores de producto se utilizan para recoger material sólido de pentafluoruro de uranio ( $UF_5$ ). Pueden estar formados por colectores de filtro, impacto o ciclón, o sus combinaciones, y tienen que ser resistentes a la corrosión en un medio de  $UF_5/UF_6$ .

### **5.7.7. Compresores de $UF_6$ /gas portador (métodos moleculares)**

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 compresores 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 (métodos moleculares)

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 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 que se llena con una mezcla de UF<sub>6</sub>/gas portador.

### 5.7.9. Sistemas de fluoración (métodos moleculares)

Sistemas especialmente diseñados o preparados para fluorar el UF<sub>5</sub> (sólido) en UF<sub>6</sub> (gaseoso).

#### NOTA EXPLICATIVA

Estos sistemas han sido diseñados para fluorar el polvo de UF<sub>5</sub> y recoger el UF<sub>6</sub> en contenedores o reintroducirlo 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 otro método, el polvo de UF<sub>5</sub> 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 una 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 UF<sub>6</sub>.

### 5.7.10. Espectrómetros de masas/fuentes de iones para UF<sub>6</sub> (métodos moleculares)

Espectrómetros de masas especialmente diseñados o preparados para tomar muestras en línea de las corrientes de UF<sub>6</sub> gaseoso y que tengan todas las características siguientes:

1. Capacidad de medir iones de 320 unidades de masa atómica o mayores, con una resolución mejor que 1 parte en 320;
2. Fuentes de iones fabricadas o protegidas con níquel, aleaciones de níquel-cobre con un contenido de níquel del 60 % en peso o más, o aleaciones de níquel-cromo;
3. Fuentes de ionización por bombardeo electrónico; y
4. Un sistema colector apropiado para el análisis isotópico.

### 5.7.11. Sistemas de alimentación/extracción del producto y de las colas (métodos moleculares)

Sistemas o equipo especialmente diseñados o preparados para plantas de enriquecimiento, fabricados o protegidos con materiales resistentes a la corrosión por el UF<sub>6</sub>, con inclusión de:

- a) Autoclaves, hornos o sistemas de alimentación utilizados para introducir el UF<sub>6</sub> en el proceso de enriquecimiento;
- b) Desublimadores (o trampas frías) utilizados para extraer el UF<sub>6</sub> del proceso de enriquecimiento para su transferencia subsiguiente después del calentamiento;
- c) Estaciones de solidificación o licuefacción utilizadas para extraer el UF<sub>6</sub> del proceso de enriquecimiento por compresión y conversión del UF<sub>6</sub> al estado líquido o sólido;
- d) Estaciones de “producto” o “colas” utilizadas para transferir el UF<sub>6</sub> a contenedores.

### 5.7.12. Sistemas de separación UF<sub>6</sub>/gas portador (métodos moleculares)

Sistemas especialmente diseñados o preparados para separar el UF<sub>6</sub> del gas portador.

#### NOTA EXPLICATIVA

Estos sistemas pueden comprender el equipo siguiente:

- a) Intercambiadores de calor criogénicos y crioseparadores capaces de alcanzar temperaturas de 153 K (-120 °C) o inferiores;
- b) Unidades de refrigeración criogénicas capaces de alcanzar temperaturas de 153 K (-120 °C) o inferiores;
- c) Trampas frías para el UF<sub>6</sub> capaces de congelarlo.

El gas portador puede ser nitrógeno, argón u otro gas.

### 5.7.13. Sistemas láseres

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

#### NOTA EXPLICATIVA

El sistema láserico suele contener tanto componentes ópticos como electrónicos para la gestión del haz (o haces) de láser y la transmisión a la cámara de separación de isótopos. El sistema láserico para los métodos basados en el vapor atómico suele estar compuesto de láseres de colorantes sintonizables bombeados por otro tipo de láser (por ejemplo, láseres de vapor de cobre o ciertos láseres de estado sólido). El sistema láserico para métodos moleculares puede estar compuesto de láseres de dióxido de carbono o láseres de excímero y una celda óptica de multipasos. En ambos métodos, los láseres o sistemas lásericos requieren una estabilización de frecuencia espectral para poder funcionar durante períodos prolongados.

Los láseres y componentes lásericos en los procesos de enriquecimiento basados en el láser incluyen lo siguiente:

Láseres, amplificadores láser y osciladores, como sigue:

- a. Láseres de vapor de cobre con las dos características siguientes:
  1. Funcionamiento a longitudes de onda entre 500 nm y 600 nm;  $\bar{y}$
  2. Potencia media de salida de 30 W o más;
- b. Láseres de iones de argón con las dos características siguientes:
  1. Funcionamiento a longitudes de onda entre 400 nm y 515 nm;  $\bar{y}$
  2. Potencia media de salida superior a 40 W;
- c. Láseres (no de vidrio) dopados con neodimio, con longitud de onda de salida entre 1 000 nm y 1 100 nm, con una de las dos características siguientes:

1. Excitados por pulsos y con conmutación del factor Q, con duración del pulso igual o superior a 1 ns, y con una de las dos características siguientes:
  - a. Salida de monomodo transversal con una potencia media de salida superior a 40 W; o
  - b. Salida de multimodo transversal con una potencia media de salida superior a 50 W;  
o
2. Que incorpore un duplicador de frecuencia que proporcione una longitud de onda de salida de entre 500 nm y 550 nm con una potencia de salida media superior a 40 W;
- d. Osciladores pulsatorios monomodo de colorantes, sintonizables, con todas las características siguientes:
  1. Funcionamiento a una longitud de onda de entre 300 nm y 800 nm;
  2. Potencia media de salida superior a 1 W;
  3. Tasa de repetición superior a 1 kHz; y
  4. Ancho de pulso inferior a 100 ns;
- e. Osciladores y amplificadores pulsatorios de láser de colorantes sintonizables, con todas las características siguientes:
  1. Funcionamiento a una longitud de onda de entre 300 nm y 800 nm;
  2. Potencia media de salida superior a 30 W;
  3. Tasa de repetición superior a 1 kHz; y
  4. Ancho de pulso inferior a 100 ns;

Nota: No se incluyen en 3.A.2.e. los osciladores monomodo.
- f. Láseres de alexandrita con todas las características siguientes:
  1. Funcionamiento a una longitud de onda de entre 720 nm y 800 nm;
  2. Ancho de banda de 0,005 nm o menos;
  3. Tasa de repetición superior a 125 Hz; y
  4. Potencia media de salida superior a 30 W;
- g. Láseres pulsatorios de dióxido de carbono con todas las características siguientes:
  1. Funcionamiento a una longitud de onda de entre 9000 nm y 11 000 nm;
  2. Tasa de repetición superior a 250 Hz;

3. Potencia media de salida superior a 500 W; y

4. Ancho de pulso inferior a 200 ns;

Nota: En el apartado g. no se incluyen los láseres industriales de CO<sub>2</sub> de mayor potencia (normalmente, de 1 a 5 kW) empleados en aplicaciones tales como las de corte y soldadura, ya que estos últimos láseres son de onda continua, o bien pulsatorios con un ancho de pulso superior a 200 ns.

h. Láseres pulsatorios de excímero (XeF, XeCl, KrF) con todas las características siguientes:

1. Funcionamiento a una longitud de onda de entre 240 nm y 360 nm;

2. Tasa de repetición superior a 250 Hz; y

3. Potencia media de salida superior a 500 W;

i. Cambiadores Raman de parahidrógeno diseñados para funcionar con longitud de onda de salida de 16 μm y una tasa de repetición superior a 250 Hz.

j. Láseres pulsatorios de monóxido de carbono (CO) con todas las características siguientes:

1. Funcionamiento a una longitud de onda de entre 5000 nm y 6000 nm;

2. Tasa de repetición superior a 250 Hz;

3. Potencia media de salida superior a 200 W; y

4. Ancho de pulso inferior a 200 ns;

Nota: En el apartado j. no se incluyen los láseres industriales de CO de mayor potencia (normalmente, de 1 a 5 kW) empleados en aplicaciones tales como las de corte y soldadura, ya que estos últimos láseres son de onda continua o bien pulsatorios con un ancho de pulso superior a 200 ns.

## **5.8. Sistemas, equipo y componentes especialmente diseñados o preparados para ser utilizados 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 <sup>235</sup>U, 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 y se obtiene un producto enriquecido en <sup>235</sup>U. 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 superconductor. Los principales sistemas tecnológicos del proceso comprenden el sistema de generación del plasma de uranio, el módulo separador con el imán superconductor 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 para su utilización en plantas de separación en un plasma.

### **5.8.4. Conjuntos colectores del “producto” y 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.

### **5.8.5. Cajas de módulos separadores**

Recipientes cilíndricos especialmente diseñados o preparados para ser utilizados en plantas de enriquecimiento por separación en un plasma y destinados 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 conductos de alimentación eléctrica, 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 tetracloruro de uranio (UCl<sub>4</sub>)) 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 producir una corriente de ionización total de 50 mA o superior.

b) Colectores 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 no magnéticos adecuados, como el acero inoxidable, y capaces de funcionar 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 y 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 dotada de todas las características siguientes: capacidad de funcionar de modo continuo, tensión de salida de 20 000 V o superior, corriente de salida de 1 A o superior y regulación de la tensión con variaciones inferiores al 0,01 % en un período de 8 h.

### **5.9.3. Alimentación eléctrica de los imanes**

Alimentación con corriente continua de los imanes especialmente diseñada o preparada y dotada de todas las características siguientes:

1. Capacidad de producir de modo continuo, una corriente de salida de 500 A o superior a una tensión de 100 V o superior; y
2. Regulación de la corriente o la tensión que entrañe variaciones inferiores al 0,01 % en un período de 8h.

## **6. Plantas de producción o concentración de agua pesada, deuterio y compuestos de deuterio y equipo especialmente diseñado o preparado para ese fin**

### 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 amoniaco-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 posteriores. El producto de la última etapa, o sea el agua enriquecida hasta un 30 % en peso en deuterio, se envía a una unidad de destilación para producir agua pesada utilizable en reactores, es decir, óxido de deuterio al 99,75 % en peso.

El proceso de intercambio amoniaco-hidrógeno permite extraer deuterio a partir de un gas de síntesis por contacto con amoniaco líquido ( $\text{NH}_3$ ) 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  $\text{NH}_3$ . El  $\text{NH}_3$  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 ulteriores 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.

Muchos de los elementos de equipo fundamentales de las plantas de producción de agua pesada por el proceso GS o el proceso de intercambio amoniaco-hidrógeno son 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 mercado. 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 sus especificaciones para asegurar una prolongada vida útil con elevados niveles de seguridad y fiabilidad. La elección de la escala está principalmente en 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, elementos de equipo que de manera independiente no están diseñados o preparados especialmente para la producción de agua pesada pueden montarse en sistemas si están diseñados o preparados 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 elementos de equipo que están especialmente diseñados o preparados para la producción de agua pesada, ya sea por el proceso de intercambio agua-sulfuro de hidrógeno o por el proceso de intercambio amoníaco-hidrógeno, comprenden los siguientes elementos:

### **6.1. Torres de intercambio agua-sulfuro de hidrógeno**

Torres de intercambio con diámetros de 1,5 m o superiores, capaces de funcionar a presiones superiores o iguales a 2 MPa, especialmente diseñadas o preparadas para la 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), para la circulación de sulfuro de hidrógeno gaseoso (es decir, de un gas que contenga más de 70 % en peso de sulfuro de hidrógeno  $H_2S$ ), especialmente diseñados o preparados para la 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  $56 \text{ m}^3/\text{s}$  al funcionar a presiones de aspiración superiores o iguales a 1,8 MPa, y tienen juntas diseñadas para trabajar en un medio húmedo con  $H_2S$ .

### **6.3. Torres de intercambio amoníaco-hidrógeno**

Torres de intercambio amoníaco-hidrógeno de altura superior o igual a 35 m y diámetro de 1,5 m a 2,5 m, capaces de funcionar a presiones mayores de 15 MPa, especialmente diseñadas o preparadas para la producción de agua pesada por el proceso de intercambio amoníaco-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 amoníaco-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  $NH_3$  líquido en una etapa de contacto dentro de las torres.

### **6.5. Fraccionadores de $NH_3$**

Fraccionadores de amoníaco con una presión de funcionamiento superior o igual a 3 MPa especialmente diseñados o preparados para la producción de agua pesada por el proceso de intercambio amoníaco-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 iguales o superiores al 90 % en peso.

## **6.7. Quemadores catalíticos**

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

## **6.8. Sistemas completos de enriquecimiento del agua pesada o columnas para este fin**

Sistemas completos de enriquecimiento del agua pesada, o columnas para esta operación, especialmente diseñados o preparados para elevar la concentración en deuterio del agua pesada hasta hacerla utilizable en reactores.

### NOTA EXPLICATIVA

Estos sistemas, que utilizan generalmente la destilación de agua para separar el agua pesada del agua ligera, están especialmente diseñados o preparados para producir agua pesada utilizable en reactores (es decir, normalmente D<sub>2</sub>O al 99,75 % en peso) a partir de agua pesada de alimentación de menor concentración.

## **6.9. Convertidores de síntesis o unidades de síntesis de amoniaco**

Convertidores de síntesis o unidades de síntesis de NH<sub>3</sub> especialmente diseñados o preparados para la producción de agua pesada mediante el proceso de intercambio amoniaco-hidrógeno.

### NOTA EXPLICATIVA

Estos convertidores o unidades toman el gas de síntesis (nitrógeno e hidrógeno) de una columna (o columnas) de intercambio amoniaco/hidrógeno de alta presión, y el NH<sub>3</sub> sintetizado se devuelve a dicha columna (o columnas).

## **7. Plantas de conversión de uranio y plutonio para su utilización en la fabricación de elementos combustibles y la separación de isótopos del uranio según se define en las secciones 4 y 5 respectivamente, y equipo especialmente diseñado o preparado para ese fin**

### EXPORTACIONES

La exportación del conjunto completo de artículos principales comprendidos dentro de este concepto tendrá lugar únicamente de conformidad con los procedimientos expuestos en el Memorando. Todo el conjunto de plantas, sistemas y equipo especialmente diseñado o preparado dentro de este concepto podrá utilizarse en la elaboración, producción o utilización de material fisionable especial.

## **7.1. Plantas de conversión del uranio y equipo especialmente diseñado o preparado para ese fin**

### 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, la conversión de trióxido de uranio (UO<sub>3</sub>) en dióxido de uranio (UO<sub>2</sub>), la conversión de óxidos de uranio en tetrafluoruro de uranio (UF<sub>4</sub>), (UF<sub>6</sub>) o UCl<sub>4</sub>, la conversión de UF<sub>4</sub>

en  $UF_6$ , la conversión de  $UF_6$  en  $UF_4$ , la conversión de  $UF_4$  en uranio metálico y conversión de fluoruros de uranio en  $UO_2$ . Muchos de los elementos de equipo fundamentales de las plantas de conversión del uranio son comunes a varios sectores de la industria química. Por ejemplo, entre los tipos de equipo que se utilizan en estos procesos cabe citar: hornos, hornos rotatorios, reactores de lecho fluidizado, reactores de 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 mercado; la mayoría se prepararía según las necesidades y especificaciones del cliente. En algunos casos, hay que considerar aspectos especiales acerca del diseño y construcción para tener en cuenta las propiedades corrosivas de algunos productos químicos manejados (fluoruro de hidrógeno (HF), flúor ( $F_2$ ), trifluoruro de cloro ( $ClF_3$ ) y fluoruros de uranio), así como las preocupaciones sobre criticidad nuclear. Por último, cabe señalar que en todos los procesos de conversión del uranio, los elementos de equipo que no han sido especialmente diseñados o preparados de manera independiente para esta conversión pueden montarse en sistemas especialmente diseñados o preparados para ese fin.

#### **7.1.1. 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 requiere una fuente de  $F_2$  o de  $ClF_3$ .

#### **7.1.2. Sistemas especialmente diseñados o preparados para la conversión del $UO_3$ en $UF_2$**

##### NOTA EXPLICATIVA

La conversión del  $UO_3$  en  $UO_2$  puede realizarse por reducción del  $UO_3$  con hidrógeno o  $NH_3$  craqueado.

#### **7.1.3. 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 HF gaseoso a 573-773 K (300-500 °C).

#### **7.1.4. 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 267 K (-10 °C). Este proceso necesita una fuente de  $F_2$  gaseoso.

#### **7.1.5. Sistemas especialmente diseñados o preparados para la conversión del $UF_4$ en uranio metálico**

##### NOTA EXPLICATIVA

La conversión del  $UF_4$  en uranio metálico se realiza por reducción con magnesio (grandes lotes) o calcio (pequeños lotes). La reacción se efectúa a una temperatura superior al punto de fusión del uranio, de 1403 K (1130 °C).

### **7.1.6. Sistemas especialmente diseñados o preparados para la conversión del UF<sub>6</sub> en UO<sub>2</sub>**

#### NOTA EXPLICATIVA

La conversión del UF<sub>6</sub> en UO<sub>2</sub> puede realizarse por tres procesos diferentes. En el primero, el UF<sub>6</sub> es reducido e hidrolizado en UO<sub>2</sub> con ayuda de hidrógeno y vapor. En el segundo, el UF<sub>6</sub> es hidrolizado por disolución en agua; la adición de NH<sub>3</sub> precipita el diuranato de amonio que es reducido a UO<sub>2</sub> por el hidrógeno a una temperatura de 1093 K (820 °C). En el tercer proceso, el UF<sub>6</sub>, el CO<sub>2</sub> y el NH<sub>3</sub> gaseosos se combinan con el agua, lo que ocasiona la precipitación del carbonato de uranilo y de amonio. El carbonato de uranilo y amonio se combina con el vapor y el hidrógeno a 773-873 K (500-600 °C) para producir UO<sub>2</sub>.

La conversión del UF<sub>6</sub> en UO<sub>2</sub> constituye a menudo la primera etapa que se realiza en una planta de fabricación de combustible.

### **7.1.7. Sistemas especialmente diseñados o preparados para la conversión del UF<sub>6</sub> en UF<sub>4</sub>**

#### NOTA EXPLICATIVA

La conversión del UF<sub>6</sub> en UF<sub>4</sub> se realiza por reducción con hidrógeno.

### **7.1.8. Sistemas especialmente diseñados o preparados para la conversión de UO<sub>2</sub> en UCl<sub>4</sub>**

#### NOTA EXPLICATIVA

La conversión de UO<sub>2</sub> en UCl<sub>4</sub> se realiza mediante dos procesos diferentes. En el primero, el UO<sub>2</sub> se hace reaccionar con tetracloruro de carbono (CCl<sub>4</sub>) a 673 K (400°C) aproximadamente. En el segundo proceso, el UO<sub>2</sub> se hace reaccionar a 973 K (700°C) aproximadamente en presencia de negro de humo (CAS 1333-86-4), monóxido de carbono y cloro para producir UCl<sub>4</sub>.

## **7.2. Plantas de conversión de plutonio y equipo especialmente diseñado o preparado para ese fin**

#### NOTA INTRODUCTORIA

Los sistemas y plantas de conversión de plutonio realizan una o más transformaciones de una especie química del plutonio a otra, entre ellas la conversión de nitrato de plutonio (PuN) en dióxido de plutonio (PuO<sub>2</sub>), la conversión de PuO<sub>2</sub> en tetrafluoruro de plutonio (PuF<sub>4</sub>), y la conversión de PuF<sub>4</sub> en plutonio metálico. Las plantas de conversión de plutonio por lo general guardan relación con plantas de reprocesamiento, pero también pueden estar vinculadas a instalaciones de fabricación de combustible de plutonio. Muchos de los elementos de equipo fundamentales de las plantas de conversión del plutonio son comunes a varios sectores de la industria química. Por ejemplo, entre los tipos de equipo que se utilizan en estos procesos cabe citar: hornos, hornos rotatorios, reactores de lecho fluidizado, reactores de torres de llama, centrifugadoras en fase líquida, columnas de destilación y columnas de extracción líquido-líquido. Pueden requerirse también celdas calientes, cajas de guantes y telemanipuladores. Sin embargo, solo algunos de los artículos se pueden adquirir en el mercado; la mayoría se prepararía según las necesidades y especificaciones del cliente. Es indispensable ejercer gran cuidado en el diseño y tener en cuenta los riesgos de

criticidad, toxicidad y radiológicos del plutonio. En algunos casos hay que considerar aspectos especiales acerca del diseño y la construcción para tener en cuenta las propiedades corrosivas de algunos de los productos químicos utilizados (p. ej., HF). Por último, cabe señalar que, en todos los procesos de conversión del plutonio, los elementos de equipo que de manera independiente no han sido especialmente diseñados o preparados para la conversión del plutonio, pueden montarse en sistemas especialmente diseñados o preparados para ese fin.

### **7.2.1. Sistemas especialmente diseñados o preparados de conversión del nitrato de plutonio en óxido**

#### NOTA EXPLICATIVA

Las operaciones principales de este proceso son las siguientes: ajuste, con posibilidad de almacenamiento, de la disolución de alimentación del proceso, precipitación y separación sólido/licor, calcinación, manipulación del producto, ventilación, gestión de desechos, y control del proceso. Los sistemas del proceso están especialmente adaptados a los fines de evitar los efectos de la criticidad y de las radiaciones, y de minimizar los riesgos de toxicidad. En la mayoría de las instalaciones de reprocesamiento, este proceso implica la conversión de PuN en PuO<sub>2</sub>. Otros procesos pueden entrañar la precipitación de oxalato de plutonio o peróxido de plutonio.

### **7.2.2. Sistemas especialmente diseñados o preparados para la producción de plutonio metálico**

#### NOTA EXPLICATIVA

Este proceso por lo general entraña la fluoración del PuO<sub>2</sub>, que suele efectuarse con HF sumamente corrosivo, para obtener fluoruro de plutonio, que luego se reduce empleando calcio metálico de gran pureza a fin de obtener plutonio metálico y escoria de fluoruro de calcio. Las principales operaciones de este proceso son las siguientes: fluoración (p. ej., mediante equipo construido o revestido interiormente con un metal precioso), reducción con metales (p. ej., empleando crisoles de material cerámico), recuperación de escoria, manipulación del producto, ventilación, gestión de desechos, y control del proceso. Los sistemas del proceso están especialmente adaptados a los fines de evitar los efectos de la criticidad y de las radiaciones, y de minimizar los riesgos de toxicidad. Otros procesos incluyen la fluoración de oxalato de plutonio o peróxido de plutonio y seguidamente la reducción a metal.

Las abreviaturas comúnmente utilizadas en el anexo (y sus prefijos de orden de magnitud) son las siguientes:

A	-	amperio(s)	-	Corriente eléctrica
CAS	-	Chemical Abstracts Service	-	
°C	-	grado(s) Celsius	-	Temperatura
cm	-	centímetro(s)	-	Longitud
cm <sup>2</sup>	-	centímetro(s) cuadrado(s)	-	Superficie
cm <sup>3</sup>	-	centímetro(s) cúbico(s)	-	Volumen
°	-	grado(s)	-	Ángulo
g	-	gramo(s)	-	Masa
GHz	-	gigahercio(s)	-	Frecuencia
GPa	-	gigapascal(es)	-	Presión
H	-	henrio(s)	-	Inductancia eléctrica
h	-	hora(s)	-	Tiempo
Hz	-	hercio(s)	-	Frecuencia
K	-	kelvin (kélvines)	-	Temperatura termodinámica
kg	-	kilogramo(s)	-	Masa
kHz	-	kilohercio(s)	-	Frecuencia
kJ	-	kilojulio(s)	-	Energía, trabajo, calor
kPa	-	kilopascal(es)	-	Presión
kW	-	kilovatio(s)	-	Potencia
m	-	metro(s)	-	Longitud
m <sup>2</sup>	-	metro(s) cuadrado(s)	-	Superficie
m <sup>3</sup>	-	metro(s) cúbico(s)	-	Volumen
mA	-	miliamperio(s)	-	Corriente eléctrica
min	-	minuto(s)	-	Tiempo
mm	-	milímetro(s)	-	Longitud
µm	-	micrómetro(s)	-	Longitud
MPa	-	megapascal(es)	-	Presión
N	-	newton(s)	-	Fuerza
nm	-	nanómetro(s)	-	Longitud
Pa	-	pascal(es)	-	Presión
s	-	segundo(s)	-	Tiempo
V	-	voltio(s)	-	Potencial eléctrico
Va	-	voltamperio(s)	-	Potencia eléctrica