

# Protocolo adicional al Acuerdo entre el Gobierno de la India y el Organismo Internacional de Energía Atómica para la aplicación de salvaguardias a instalaciones nucleares civiles

1. En el presente documento se transcribe, para información de todos los Estados Miembros, el texto del Protocolo adicional al Acuerdo entre el Gobierno de la India y el Organismo Internacional de Energía Atómica para la aplicación de salvaguardias a instalaciones nucleares civiles.<sup>1</sup> El protocolo adicional fue aprobado por la Junta de Gobernadores el 3 de marzo de 2009 y firmado en Viena (Austria) el 15 de mayo de 2009.

2. De conformidad con su artículo 9, el protocolo adicional entró en vigor el 25 de julio de 2014, fecha en que el Organismo recibió de la India notificación escrita de que se habían cumplido los requisitos estatutarios y/o constitucionales de la India para su entrada en vigor.

---

<sup>1</sup> Transcrito en el documento INFCIRC/754.

## PROTOCOLO ADICIONAL AL ACUERDO ENTRE EL GOBIERNO DE LA INDIA Y EL ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA PARA LA APLICACIÓN DE SALVAGUARDIAS A INSTALACIONES NUCLEARES CIVILES

CONSIDERANDO que el Gobierno de la India (en adelante denominado “la India”) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (en adelante denominado el “Organismo”) son partes en un Acuerdo para la aplicación de salvaguardias a instalaciones nucleares civiles (en adelante denominado el “Acuerdo de salvaguardias”), que entró en vigor el 11 de mayo de 2009;

CONSCIENTES del deseo de la comunidad internacional de seguir reforzando la no proliferación nuclear mediante el fortalecimiento de la eficacia y el aumento de la eficiencia del sistema de salvaguardias del Organismo;

RECONOCIENDO que la India, en ejercicio de sus derechos soberanos, está dispuesta a cooperar con el Organismo en el ulterior desarrollo de los usos de la energía nuclear con fines pacíficos;

CONSIDERANDO que la India, un Estado con tecnología nuclear avanzada, desea ampliar la cooperación nuclear civil con miras a su desarrollo nacional;

RECORDANDO que al aplicar salvaguardias el Organismo debe tener en cuenta la necesidad de: evitar la obstaculización del desarrollo económico y tecnológico de la India o de la cooperación internacional en la esfera de las actividades nucleares pacíficas; respetar la salud, la seguridad, la protección física y las demás disposiciones de seguridad que estén en vigor y los derechos de las personas; y adoptar todas las precauciones necesarias para proteger los secretos comerciales, tecnológicos e industriales, así como las otras informaciones confidenciales que lleguen a su conocimiento;

CONSIDERANDO que la frecuencia e intensidad de las actividades descritas en el presente Protocolo deberán ser las mínimas requeridas para el objetivo de fortalecer la eficacia y aumentar la eficiencia de las salvaguardias del Organismo;

La India y el Organismo acuerdan lo siguiente:

## **RELACIÓN ENTRE EL PROTOCOLO Y EL ACUERDO DE SALVAGUARDIAS**

### Artículo 1

- a. Las disposiciones del Acuerdo de salvaguardias se aplicarán al presente Protocolo en la medida en que tengan pertinencia y sean compatibles con las disposiciones de este Protocolo. En caso de conflicto entre las disposiciones del Acuerdo de salvaguardias y las del presente Protocolo, se aplicarán las disposiciones del Protocolo.
- b. El Protocolo se aplicará en tal forma que se evite la obstaculización del desarrollo económico o tecnológico de la India, y no se entorpezcan las actividades relacionadas con el uso por la India de materiales nucleares, materiales no nucleares, equipo, componentes, información o tecnología producidos, adquiridos o desarrollados por la India independientemente del Acuerdo de salvaguardias para sus propios fines, o se interfiera en esas actividades de otra forma.

## **SUMINISTRO DE INFORMACIÓN**

### Artículo 2

- a. La India presentará al Organismo una declaración en virtud del presente Protocolo que contenga:
  - i) Las cantidades, composición química y destino de cada exportación fuera de la India de materiales básicos que no hayan alcanzado la composición y pureza adecuadas para la fabricación de combustible o para su enriquecimiento isotópico, a saber:
    - a) diez toneladas métricas de uranio o, con respecto a sucesivas exportaciones de uranio efectuadas desde la India al mismo Estado, cada una de las cuales sea inferior a diez toneladas métricas pero que superen un total de diez toneladas métricas en el año;
    - b) veinte toneladas métricas de torio o, con respecto a sucesivas exportaciones de torio efectuadas desde la India al mismo Estado, cada una de las cuales sea inferior a veinte toneladas métricas pero que superen un total de veinte toneladas métricas en el año;

en el entendimiento de que no existe obligación de suministrar información sobre dichos materiales una vez que estén en su forma de uso final no nuclear.
  - ii) La información que se indica a continuación relativa al equipo y materiales no nucleares especificados que se enumeran en la lista del Anexo:

Por cada exportación de dichos equipo y materiales desde la India: identidad, cantidad, lugar de la utilización prevista en el Estado destinatario y fecha o, si procede, fecha esperada de la exportación.

- b. A solicitud del Organismo, la India facilitará las ampliaciones o aclaraciones de cualquier información que haya proporcionado con arreglo al presente artículo, en la medida en que sea pertinente para los fines de las salvaguardias en un Estado que haya aceptado las salvaguardias amplias.

#### Artículo 3

- a. Sin perjuicio de lo dispuesto en otros requisitos de presentación de informes contenidos en el Acuerdo de salvaguardias, la India facilitará al Organismo, a más tardar el 15 de mayo de cada año, la información indicada en el apartado i) del párrafo a. del artículo 2 con respecto al período correspondiente al año calendario anterior.
- b. Sin perjuicio de lo dispuesto en otros requisitos de presentación de informes contenidos en el Acuerdo de salvaguardias, la India facilitará al Organismo trimestralmente la información indicada en el apartado ii) del párrafo a. del artículo 2. Esta información se presentará dentro de los sesenta días siguientes al fin de cada trimestre.

### **DESIGNACIÓN DE INSPECTORES DEL ORGANISMO**

#### Artículo 4

- a.
  - i) El Director General notificará a la India toda aprobación por la Junta de la designación de funcionarios del Organismo como inspectores de salvaguardias. A menos que la India comunique al Director General su rechazo de ese funcionario como inspector para la India dentro de tres meses a contar del recibo de la notificación de la aprobación de la Junta, el inspector cuya designación se haya notificado a la India se considerará designado para la India.
  - ii) El Director General, actuando en respuesta a una petición de la India o por propia iniciativa, informará inmediatamente a la India cuando la designación de un funcionario como inspector para la India haya sido retirada.
- b. Las notificaciones mencionadas en el párrafo a. *supra* se considerarán recibidas por la India siete días después de la fecha de transmisión por correo certificado de la notificación del Organismo a la India.

### **VISADOS**

#### Artículo 5

La India, en el plazo de un mes a contar del recibo de la correspondiente solicitud, concederá al inspector designado mencionado en la solicitud los visados apropiados de ingreso/salida y/o de tránsito múltiples, que fueran necesarios, de modo que el inspector pueda ingresar y permanecer en el territorio de la India con la finalidad de desempeñar sus funciones.

Los visados que fueran necesarios deberán tener una validez mínima de un año y se renovarán, según corresponda, para abarcar el período de la designación del inspector para la India.

## **SISTEMAS DE COMUNICACIÓN**

### **Artículo 6**

- a. La India permitirá y protegerá la libre comunicación para fines oficiales del Organismo entre los inspectores del Organismo que se encuentren en la India y la Sede del Organismo y/o las Oficinas Regionales, incluidas las transmisiones, con operador y automáticas, de información generada por los dispositivos de medición o de contención y/o vigilancia del Organismo. El Organismo tendrá derecho, previa consulta con la India, a utilizar sistemas de comunicación directa internacionalmente establecidos, en particular, sistemas de satélite y otras formas de telecomunicación que no se utilicen en la India. Cuando lo pida la India o el Organismo, los detalles relativos a la aplicación de este párrafo con respecto a las transmisiones, con operador o automáticas, de información generada por los dispositivos de medición o de contención y/o vigilancia del Organismo se especificarán en los Arreglos Subsidiarios.
- b. En la comunicación y transmisión de información estipuladas en el párrafo a. *supra* deberá tomarse debidamente en cuenta la necesidad de proteger la información de carácter estratégico por razones de propiedad industrial o comerciales o la información sobre el diseño que la India considere de carácter especialmente estratégico.

## **PROTECCIÓN DE LA INFORMACIÓN CONFIDENCIAL**

### **Artículo 7**

- a. El Organismo mantendrá un régimen estricto para asegurar la protección eficaz contra la divulgación de secretos comerciales, tecnológicos e industriales y otras informaciones confidenciales que lleguen a su conocimiento, incluida la información de ese tipo que llegue a conocimiento del Organismo con motivo de la aplicación del presente Protocolo.
- b. El régimen mencionado en el párrafo a. *supra* incluirá, entre otras, disposiciones relativas a:
  - i) Principios generales y medidas conexas para la tramitación de la información confidencial;
  - ii) Condiciones de empleo del personal relativas a la protección de la información confidencial;
  - iii) Procedimientos para el caso de infracción o presunta infracción de la confidencialidad.

- c. El régimen mencionado en el párrafo a. *supra* será aprobado y revisado periódicamente por la Junta.

## **ANEXO**

### Artículo 8

- a. El Anexo del presente Protocolo formará parte integrante de él. Salvo para los fines de modificación del Anexo, por el término “Protocolo” utilizado en este instrumento se entenderá el Protocolo juntamente con su Anexo.
- b. La Junta, previo asesoramiento de un grupo de trabajo de expertos de composición abierta por ella establecido, podrá enmendar la lista de equipo y materiales especificada en el Anexo. Toda enmienda de este tipo cobrará efectividad cuatro meses después de su aprobación por la Junta.

## **ENTRADA EN VIGOR**

### Artículo 9

- a. El presente Protocolo entrará en vigor en la fecha en que el Organismo reciba de la India notificación escrita de que se han cumplido los requisitos legales y/o constitucionales de la India para su entrada en vigor.
- b. La India podrá declarar, en cualquier fecha antes de que el presente Protocolo entre en vigor, que aplicará el presente Protocolo provisionalmente.
- c. El Director General informará prontamente a todos los Estados Miembros del Organismo de cualquier declaración de aplicación provisional y de la entrada en vigor del presente Protocolo.

HECHO en Viena a los 15 días del mes de mayo de 2009, por duplicado, en idioma inglés.

Por el GOBIERNO DE LA INDIA:

Por el ORGANISMO INTERNACIONAL  
DE ENERGÍA ATÓMICA:

(firmado)

(firmado)

Saurabh Kumar  
Embajador

Mohamed El-Baradei  
Director General

ANEXO DEL PROTOCOLO ADICIONAL AL ACUERDO ENTRE EL GOBIERNO DE LA INDIA Y EL ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA PARA LA APLICACIÓN DE SALVAGUARDIAS A INSTALACIONES NUCLEARES CIVILES

LISTA DE EQUIPO Y MATERIALES NO NUCLEARES ESPECIFICADOS PARA NOTIFICAR LAS EXPORTACIONES CON ARREGLO AL APARTADO ii) DEL PÁRRAFO a. DEL ARTÍCULO 2

**1. Reactores y equipo para los mismos**

**1.1. Reactores nucleares completos**

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

NOTA EXPLICATIVA

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

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

**1.2. Vasijas de presión de reactores**

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

NOTA EXPLICATIVA

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

Los dispositivos interiores del reactor (por ejemplo: columnas y placas de apoyo del núcleo y otros dispositivos interiores de la vasija, tubos-guía para las barras de control, blindajes térmicos, placas deflectoras, placas para el reticulado del núcleo,

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

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

Equipo de manipulación especialmente concebido o preparado para insertar o extraer el combustible en un reactor nuclear conforme se le define en el anterior párrafo 1.1., con el que sea posible cargar el combustible con el reactor en funcionamiento o que incluya características de disposición o alineación técnicamente complejas que permitan realizar operaciones complicadas de carga de combustible con el reactor parado tales como aquéllas en las que normalmente no es posible la visión directa del combustible o el acceso a éste.

### **1.4. Barras de control para reactores**

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

#### **NOTA EXPLICATIVA**

Esta partida de equipo comprende, además de aquella parte de la barra de control consistente en el material absorbedor de neutrones, las estructuras de apoyo o suspensión de la misma si se las suministra por separado.

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

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

### **1.6. Tubos de circonio**

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

## **1.7. Bombas del refrigerante primario**

Bombas especialmente concebidas o preparadas para hacer circular metal líquido como refrigerante primario de reactores nucleares conforme se les define en el anterior párrafo 1.1.

### NOTA EXPLICATIVA

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

## **2. Materiales no nucleares para reactores**

### **2.1. Deuterio y agua pesada**

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

### **2.2. Grafito de pureza nuclear**

Grafito con un nivel de pureza superior a 5 partes por millón de boro equivalente y con una densidad superior a 1,50 g/cm<sup>3</sup>, para su utilización en un reactor nuclear conforme se le define en el anterior párrafo 1.1., en cantidades que excedan de 3 x 10<sup>4</sup> kg (30 toneladas métricas) para un mismo país destinatario dentro de un mismo período de 12 meses.

### NOTA

Al efecto de notificación, el Gobierno determinará si las exportaciones de grafito que cumpla las especificaciones anteriores son o no para su utilización en un reactor nuclear.

## **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 se ha acreditado y extendido más que los demás. Entraña este proceso la disolución del combustible nuclear irradiado en ácido nítrico, seguida de 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, incluyendo las siguientes: troceado de los elementos combustibles irradiados, lixiviación del combustible, extracción con disolventes y almacenamiento de licores de proceso. Puede haber asimismo equipo para otras operaciones, tales como 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 o a la disposición por largo plazo. 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 a 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 tomadas 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).

Las partidas de equipo que se consideran incluidas en la frase “y equipo especialmente concebido o preparado” para el reprocesamiento de elementos combustibles irradiados comprenden:

### **3.1. Máquinas trozadoras de elementos combustibles irradiados**

#### NOTA INTRODUCTORIA

Este equipo rompe la vaina del elemento combustible y expone así a la acción lixivadora el material nuclear irradiado. Para esta operación suelen emplearse cizallas metálicas de diseño especial, aunque puede utilizarse equipo avanzado, como los láser, por ejemplo.

Equipo teleaccionado especialmente concebido o preparado para su utilización en una planta de reprocesamiento conforme se la describe anteriormente y destinado al troceo, corte o cizallamiento de conjuntos, haces o barras o varillas de combustible.

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

#### NOTA INTRODUCTORIA

Estos recipientes suelen recibir el combustible gastado troceado. En estos recipientes, a prueba de criticidad, el material nuclear irradiado se lixivia con ácido nítrico, y los fragmentos de vainas remanentes se eliminan del circuito del proceso.

Tanques a prueba del riesgo de criticidad (por ejemplo: tanques de pequeño diámetro, anulares o de placas) especialmente concebidos o preparados para su utilización en una planta de reprocesamiento conforme se la 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 y mantenimiento.

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

#### NOTA INTRODUCTORIA

Estos extractores reciben la solución de combustible irradiado proveniente de los recipientes de lixiviación y también la solución orgánica que separa el uranio, el plutonio y los productos de fisión. El equipo para la extracción con disolventes suele diseñarse para cumplir parámetros de operación rigurosos, tales como prolongada vida útil 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.

Son extractores por disolvente especialmente diseñados o preparados, como por ejemplo las columnas pulsantes o de relleno, mezcladores - sedimentadores, o contactadores centrífugos para el empleo 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 (incluidas soldaduras especiales y técnicas especiales de inspección, control de calidad y garantía de calidad) con aceros inoxidable al carbono, titanio, circonio u otros materiales de alta calidad.

### **3.4. Recipientes de retención o almacenamiento químico**

#### NOTA INTRODUCTORIA

De la etapa de extracción mediante disolvente se derivan tres circuitos principales de licor de proceso. Para el tratamiento ulterior de estos tres 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 a 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.

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 bajos en 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 %, o bien
- 2) un diámetro máximo de 175 mm (7 pulgadas) en el caso de recipientes cilíndricos, o bien
- 3) un ancho máximo de 75 mm (3 pulgadas) en el caso de recipientes anulares o planos.

### **3.5. Sistema de conversión del nitrato de plutonio en óxido**

#### **NOTA INTRODUCTORIA**

En la mayoría de las instalaciones de reprocesamiento, este proceso final entraña la conversión de la solución de nitrato de plutonio en dióxido de plutonio. Las operaciones principales de este proceso son las siguientes: 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.

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

### **3.6. Sistema de conversión de óxido de plutonio en metal**

#### NOTA INTRODUCTORIA

Este proceso, que puede vincularse a una instalación de reprocesamiento, entraña la fluoración del dióxido de plutonio, que suele efectuarse con fluoruro de hidrógeno sumamente corrosivo, para obtener fluoruro de plutonio, que luego se reduce empleando calcio metal 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.

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

### **4. Plantas para la fabricación de elementos combustibles**

Una “planta para la fabricación de elementos combustibles” comprende:

- 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 combustible nuclear dentro de su revestimiento.

### **5. Plantas para la separación de isótopos del uranio y equipo, distinto de los instrumentos de análisis, especialmente concebido o preparado para ello**

Las partidas de equipo que se consideran incluidas en la frase “equipo, distinto de los instrumentos de análisis, especialmente concebido 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 uso en centrifugadoras de gas**

##### NOTA INTRODUCTORIA

Una centrifugadora de gas consiste normalmente en un cilindro o cilindros de paredes delgadas, de un diámetro de 75 mm (3 pulgadas) a 400 mm (16 pulgadas), contenidos en un vacío y sometidos a un movimiento rotatorio que produce elevada velocidad periférica del orden de 300 m/s o más; el eje central del cilindro es vertical. A fin de conseguir una elevada velocidad de rotación, los materiales de construcción de los componentes rotatorios deben poseer una elevada razón resistencia/densidad, y el conjunto rotor, y por consiguiente sus componentes individuales 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  $UF_6$ , 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 contenidos en el medio vacío se encuentra un número de elementos importantes no rotatorios los que, aunque de diseño especial, no son difíciles de fabricar ni emplean materiales muy especiales. Sin embargo, una instalación de centrifugación necesita un gran número de dichos componentes, de modo que las cantidades de los mismos 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 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 su espesor de 12 mm (0,5 pulgadas) o menos, un diámetro de 75 mm (3 pulgadas) a 400 mm (16 pulgadas), construidos con uno de los materiales de elevada razón resistencia/densidad descritos en la NOTA EXPLICATIVA de esta Sección.

#### c) Anillos o fuelles:

Componentes especialmente diseñados o preparados para reforzar localmente el tubo rotor o unir varios tubos rotores. Los fuelles son cilindros cortos de un espesor de pared de 3 mm (0,12 pulgadas) o menos, un diámetro de 75 mm (3 pulgadas) a 400 mm (16 pulgadas), de forma convolutiva, 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 (3 pulgadas) a 400 mm (16 pulgadas) de diámetro especialmente diseñados o preparados para ser montados dentro del tubo rotor de la centrifugadora a fin de aislar la cámara de toma de la cámara principal de separación y, en algunos casos, de facilitar la circulación del 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 (3 pulgadas) a 400 mm (16 pulgadas) de diámetro especialmente diseñados o preparados para ajustarse a los extremos del tubo rotor y contener así el UF<sub>6</sub> 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 contruidos 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 capaz de una resistencia límite a la tracción de  $2,05 \times 10^9 \text{ N/m}^2$  (300 000 psi) o más;
- b) Aleaciones de aluminio capaces de una resistencia límite a la tracción de  $0,46 \times 10^9 \text{ N/m}^2$  (67 000 psi) o más;
- c) Materiales filamentosos apropiados para su uso en estructuras compuestas y que poseen un módulo específico de  $12,3 \times 10^6 \text{ m}$  o mayor, y una resistencia límite a la tracción de  $0,3 \times 10^6 \text{ m}$  o más (“Módulo específico” es el Módulo de Young en  $\text{N/m}^2$  dividido por el peso específico en  $\text{N/m}^3$ ; “Resistencia límite a la tracción específica” es la resistencia límite a la tracción en  $\text{N/m}^2$  dividida por el peso específico en  $\text{N/m}^3$ ).

**5.1.2. Componentes estáticos**

a) Soportes magnéticos de suspensión:

Conjuntos de suspensión especialmente diseñados o preparados consistentes en un electroimán anular suspendido en un marco que contiene un medio amortiguador. El marco 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 (120 000 en unidades CGS) o más, o una remanencia de 98,5 % o más, o un producto de energía de más de  $80 \text{ kJ/m}^3$  ( $10^7$  gauss-oersteds). Además de las propiedades usuales de los materiales, es requisito esencial que la desviación de los ejes magnéticos respecto de los geométricos no exceda de muy pequeñas tolerancias (menos de 0,1 mm o 0,004 pulgadas) y que la homogeneidad del material del imán sea muy elevada.

b) Soportes/amortiguadores:

Soportes especialmente diseñados o preparados que comprenden un conjunto pivote/copa montado en un amortiguador. El pivote es generalmente una barra de acero templado pulimentado en un extremo en forma de semiesfera y provista en el

otro extremo de un medio de encaje 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. Esos dos componentes se acomodan a menudo separadamente en el amortiguador.

c) Bombas moleculares:

Cilindros especialmente preparados o diseñados con surcos helicoidales maquinados o extruidos y paredes interiores maquinadas. Las dimensiones típicas son las siguientes: de 75 mm (3 pulgadas) a 400 mm (16 pulgadas) de diámetro interno; 10 mm (0,4 pulgadas) o más de espesor de pared; longitud igual o mayor que el diámetro. Los surcos tienen generalmente sección rectangular y 2 mm (0,08 pulgadas) o más de profundidad.

d) Estatores de motores:

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

e) Recipientes/cajas de centrifugadoras:

Componentes especialmente diseñados o preparados para alojar un conjunto de tubos rotores de una centrifugadora de gas. La caja está formada por un cilindro rígido, siendo el espesor de la pared de hasta 30 mm (1,2 pulgadas), con los extremos maquinados con precisión para contener los soportes y con una o varias bridas para el montaje. Los extremos maquinados son paralelos entre sí y perpendiculares al eje longitudinal del cilindro con una desviación de 0,05 grados o menos. La caja puede ser también una estructura alveolar para contener varios tubos o rotores. Las cajas están construidas o revestidas con materiales resistentes a la corrosión por el UF<sub>6</sub>.

f) Paletas:

Tubos especialmente diseñados o preparados de hasta 12 mm (0,5 pulgadas) de diámetro interno para la extracción del UF<sub>6</sub> gaseoso del tubo rotor por acción de un tubo de Pitot (es decir, su abertura desemboca en el flujo de gas periférico situado dentro del tubo rotor, se obtiene por ejemplo doblando el extremo de un tubo dispuesto radialmente) y capaz de conectarse al sistema central de extracción de gas. Los tubos están fabricados o protegidos con materiales resistentes a la corrosión por el UF<sub>6</sub>.

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

### NOTA INTRODUCTORIA

Los sistemas, equipo y componentes auxiliares para una planta de enriquecimiento por centrifugación gaseosa son los que se necesitan en una instalación para alimentar UF<sub>6</sub>

a las centrifugadoras, conectar entre sí las centrifugadoras individuales para que formen cascadas (o etapas) que conduzcan a valores progresivamente elevados de enriquecimiento y para extraer el “producto” y las “colas” del UF<sub>6</sub> de las centrifugadoras; también se incluye en esta categoría el equipo necesario para impulsar las centrifugadoras y para el control de la maquinaria.

Normalmente, el UF<sub>6</sub> se evapora a partir de su fase sólida mediante la utilización de autoclaves y se distribuye en forma gaseosa a las centrifugadoras por medio de un sistema de tuberías provisto de cabezales y configurado en cascadas. El “producto” y las “colas” pasan también por un tal 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, componentes y sistemas de tuberías deben construirse de modo que se obtenga un muy elevado grado de vacío y de limpieza de trabajo.

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

Sistemas especialmente diseñados o preparados para el proceso, en particular:

Autoclaves de alimentación (o estaciones) utilizadas para pasar el UF<sub>6</sub> a las cascadas de centrifugadoras a presiones de hasta 100 kPa (15 psi) y a una tasa de 1 kg/h o más;

Desublimadores (o trampas frías) utilizados para extraer el UF<sub>6</sub> de las cascadas a hasta 3 kPa (0,5 psi) de presión. Los desublimadores pueden enfriarse hasta 203 K (-70° C) y calentarse hasta 343 K (70° C);

Estaciones para el “producto” y las “colas”, utilizadas para introducir el UF<sub>6</sub> en recipientes.

Estos componentes, equipo y tuberías están enteramente contruidos o recubiertos de materiales resistentes al UF<sub>6</sub> (véase la NOTA EXPLICATIVA de esta Sección) y deben fabricarse de modo que se obtenga un muy elevado grado de vacío y de limpieza de trabajo.

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

Sistemas de tuberías y cabezales especialmente diseñados o preparados para dirigir 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 construida con materiales resistentes al UF<sub>6</sub> (véase la NOTA EXPLICATIVA de esta Sección) y debe fabricarse de modo que se obtenga un muy elevado grado de vacío y de limpieza de trabajo.

### **5.2.3. Espectrómetros de masa para UF<sub>6</sub>/fuentes iónicas**

Espectrómetros de masa magnéticos o cuadrupolares especialmente diseñados o preparados, capaces de tomar “en línea” muestras de material de alimentación, del producto o de las colas, a partir de la corriente del gas UF<sub>6</sub>, y que posean todas las características siguientes:

1. Resolución unitaria para masas superior a 320;
2. Fuentes iónicas construidas o recubiertas con cromoníquel, metal monel o galvanoníquelado;
3. Fuentes de ionización de bombardeo electrónico;
4. Se hallan provistos de un sistema colector apropiado para el análisis isotópico.

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

#### **NOTA EXPLICATIVA**

Los artículos enumerados anteriormente se encuentran en contacto directo con el gas UF<sub>6</sub> del proceso o se utilizan directamente para el control de las centrifugadoras y el paso del gas de unas a otras y de cascada a cascada.

Los materiales resistentes a la corrosión por el UF<sub>6</sub> incluyen el acero inoxidable, el aluminio, las aleaciones de aluminio, el níquel y las aleaciones que contengan 60 % o más de níquel.

### **5.3. Unidades especialmente diseñadas o preparadas y partes componentes para ser usadas 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 el hexafluoruro de uranio ( $\text{UF}_6$ ), todo el equipo, tuberías y superficies de instrumentos (que entran en contacto con el gas) deben manufacturarse en base a materiales que permanecen estables al contacto con el  $\text{UF}_6$ . Una instalación de difusión gaseosa requiere determinado número de unidades de este tipo, de modo que dicho número puede proporcionar indicaciones importantes respecto del uso final.

### **5.3.1. Barreras de difusión gaseosa**

- a) Filtros finos, especialmente diseñados o preparados, porosos, cuyos poros tengan un diámetro del orden de los 100 a 1 000 Å (angstroms), un espesor de 5 mm (0,2 pulgadas) o menos, y para aquellos de forma tubular, un diámetro de 25 mm (1 pulgada) o menos, fabricados con metales, polímeros o materiales cerámicos resistentes a la acción corrosiva del  $\text{UF}_6$ , y
- 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 % o más de níquel, óxido de aluminio, o polímeros de hidrocarburos totalmente fluorados resistentes al  $\text{UF}_6$ , cuya pureza sea del 99,9 % o más, y con un tamaño de partículas inferior a 10 micrómetros y un alto grado de uniformidad en cuanto al tamaño de las partículas, especialmente preparados para la manufactura de barreras de difusión gaseosa.

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

Vasijas cilíndricas especialmente diseñadas o preparadas, herméticamente cerradas, con un diámetro superior a 300 mm (12 pulgadas) y una longitud superior a 900 mm (35 pulgadas), o vasijas rectangulares de dimensiones comparables, dotadas de una conexión de entrada y dos conexiones de salida, todas éstas con un diámetro superior a 50 mm (2 pulgadas), para contener una barrera de difusión gaseosa, hecha o recubierta con un metal resistente al  $\text{UF}_6$  y diseñada para ser instalada en posición horizontal o vertical.

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

Compresores axiales, centrífugos o volumétricos, o sopladores de gas especialmente diseñados o preparados, con un volumen de capacidad de succión de  $1 \text{ m}^3/\text{min}$ , o más, de  $\text{UF}_6$ , y con una presión de descarga de hasta varios centenares de kPa (100 psi), diseñados para operaciones a largo plazo en contacto con  $\text{UF}_6$  gaseoso con o sin un motor eléctrico de potencia apropiada, así como unidades autónomas de compresión o soplado de gas. Estos compresores y sopladores de gas presentan una relación de presión de entre 2 : 1 y 6 : 1 y están hechos o recubiertos de materiales resistentes al  $\text{UF}_6$  gaseoso.

### **5.3.4. Obturadores para ejes de rotación**

Obturadores de vacío especialmente diseñados o preparados, con conexiones selladas de entrada y de salida para asegurar la estanqueidad de los ejes que conectan los

rotores de los compresores o de los sopladores de gas con los motores de propulsión para asegurar que el sistema disponga de un sellado fiable a fin de evitar 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 diseñados para una tasa de infiltración de gas separador inferior a 1 000 cm<sup>3</sup>/min (60 pulgadas<sup>3</sup>/min).

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

Intercambiadores de calor especialmente diseñados o preparados, fabricados con o recubiertos con materiales resistentes al UF<sub>6</sub> (excepto el acero inoxidable) o con cobre o cualquier combinación de dichos metales, y concebidos para una tasa de cambio de presión por pérdida inferior a 10 Pa (0,0015 psi) por hora con una diferencia de presión de 100 kPa (15 psi).

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

##### NOTA INTRODUCTORIA

Los sistemas auxiliares, equipo y componentes para plantas de enriquecimiento por difusión gaseosa son los sistemas necesarios para introducir el UF<sub>6</sub> en los elementos de difusión gaseosa y unir entre sí cada elemento para formar cascadas (o etapas) que permitan el progresivo enriquecimiento y la extracción, de dichas cascadas, del “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 tiene por consecuencia 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 gaseosas de UF<sub>6</sub> “producto” y “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, éstas 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 tubería se fabrican de manera que satisfagan normas muy estrictas en cuanto a vacío y limpieza.

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

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

Autoclaves de alimentación (o sistemas), que se usan para introducir el UF<sub>6</sub> a la cascada de difusión gaseosa;

Desublimadores (o trampas frías) utilizados para extraer el UF<sub>6</sub> de las cascadas de difusión;

Estaciones de licuefacción en las que el UF<sub>6</sub> gaseoso procedente de la cascada es comprimido y enfriado para obtener UF<sub>6</sub> líquido;

Estaciones de “producto” o “colas” usadas para el traspaso del UF<sub>6</sub> hacia los 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. Normalmente, dicha red de tuberías forma parte del sistema de “doble” cabecera en el que cada unidad está conectada a cada una de las cabeceras.

#### **5.4.3. Sistemas de vacío**

- a) Distribuidores grandes de vacío, colectores de vacío y bombas de vacío, especialmente diseñados o preparados, cuya capacidad mínima de succión sea de 5 m<sup>3</sup>/min (175 pies<sup>3</sup>/min);
- b) Bombas de vacío especialmente diseñadas para funcionar en medios de UF<sub>6</sub>, fabricadas o recubiertas de aluminio, níquel o aleaciones cuyo componente en níquel sea superior al 60 %. Dichas bombas pueden ser rotativas o impelentes, pueden tener desplazamiento y obturadores de fluorocarburo y pueden tener fluidos especiales activos.

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

Válvulas especiales de fuelle de cierre y de control, manuales o automáticas, especialmente diseñadas o preparadas, fabricadas con materiales resistentes al UF<sub>6</sub>, con diámetros de 40 mm a 1 500 mm (1,5 a 59 pulgadas) para su instalación en los sistemas principal y auxiliares de plantas de enriquecimiento por difusión gaseosa.

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

Espectrómetros de masa magnéticos o cuadrupolares, especialmente diseñados o preparados, capaces de tomar muestras “en línea” de material de alimentación, producto o colas, de flujos de UF<sub>6</sub> gaseoso y que presenten todas las características siguientes:

1. Resolución unitaria para masa mayor de 320;
2. Fuentes iónicas construidas o recubiertas de cromoníquel o metal monel o niqueladas;
3. Fuentes de ionización por bombardeo de electrones;

#### 4. Sistema colector apropiado de análisis isotópico.

##### NOTA EXPLICATIVA

Los artículos que se enumeran *supra* entran en contacto directo con el UF<sub>6</sub> gaseoso o controlan de manera directa el flujo dentro de la cascada. Todas las superficies que entran en contacto directo con el gas de trabajo están fabricadas o recubiertas con materiales resistentes al UF<sub>6</sub>. Por lo que toca a las secciones relativas a los elementos de equipo para difusión gaseosa, los materiales resistentes al efecto corrosivo del UF<sub>6</sub> incluyen el acero inoxidable, el aluminio, las aleaciones de aluminio, la alúmina, el níquel o las aleaciones que comprenden un 60 % o más de níquel, y los polímeros de hidrocarburos totalmente fluorados resistentes al UF<sub>6</sub>.

### **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 comprenden recipientes cilíndricos que contienen los elementos especiales de separación (toberas o tubos vorticiales), compresores de gas e intercambiadores de calor para eliminar el calor de compresión. Una planta aerodinámica requiere varias de estas etapas, de modo que las cantidades pueden facilitar una indicación importante acerca del uso final. Como los procesos aerodinámicos emplean UF<sub>6</sub>, todo el equipo, tuberías y superficies de instrumentos (que entran en contacto con el gas) deben estar contruidos con materiales que permanezcan estables en contacto con el UF<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, el acero inoxidable, el aluminio, aleaciones de aluminio, níquel o aleaciones que contienen el 60 % o más de níquel y polímeros de hidrocarburos totalmente fluorados resistentes al UF<sub>6</sub>.

#### **5.5.1. Toberas de separación**

Toberas de separación y sus conjuntos especialmente diseñados o preparados. Las toberas de separación están formadas por canales curvos, con una hendidura, y un radio de curvatura inferior a 1 mm (normalmente comprendido entre 0,1 y 0,05 mm),

resistentes a la corrosión por el UF<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> su diámetro está comprendido entre 0,5 cm y 4 cm, tienen una relación longitud-diámetro de 20:1 o menos, y poseen una o varias entradas tangenciales. Los tubos pueden estar equipados con dispositivos tipo tobera en uno de sus extremos o en ambos.

#### NOTA EXPLICATIVA

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

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

Compresores axiales, centrífugos o impelentes, o sopladores de gas especialmente diseñados o preparados, fabricados o protegidos con materiales resistentes a la corrosión por el UF<sub>6</sub> y con una capacidad de aspiración de la mezcla de UF<sub>6</sub>/gas portador (hidrógeno o helio) de 2 m<sup>3</sup>/min o más.

#### NOTA EXPLICATIVA

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

### **5.5.4. Obturadores para ejes de rotación**

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

## NOTA EXPLICATIVA

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

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

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

- 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 posterior transferencia después del calentamiento;
- c) Estaciones de solidificación o de 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 al sólido;
- d) Estaciones de “productos” o “colas” utilizadas para transferir el UF<sub>6</sub> a los contenedores.

### 5.5.8. Sistemas colectores

Tuberías y colectores, 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, las tuberías forman parte de un sistema colector “doble” en el que cada etapa o grupo de etapas está conectado a cada uno de los colectores.

### 5.5.9. Bombas y sistemas de vacío

- a) Sistemas de vacío especialmente diseñados o preparados, con una capacidad de aspiración de 5 m<sup>3</sup>/min o más, y que comprenden distribuidores de vacío, colectores de vacío y bombas de vacío, y que han sido diseñados para trabajar en una atmósfera de UF<sub>6</sub>;
- b) Bombas de vacío especialmente diseñadas o preparadas para trabajar en una atmósfera de UF<sub>6</sub>, fabricadas o revestidas con materiales resistentes a la corrosión por el UF<sub>6</sub>. Estas bombas pueden estar dotadas de juntas de fluorocarburo y tener fluidos especiales de trabajo.

### 5.5.10. Válvulas especiales de parada y control

Válvulas de fuelle de parada y de control, manuales o automáticas, especialmente diseñadas o preparadas, fabricadas con materiales resistentes a la corrosión por el UF<sub>6</sub>,

con un diámetro de 40 mm a 1 500 mm, para su instalación en los sistemas principal y auxiliares de plantas de enriquecimiento aerodinámico.

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

Espectrómetros de masa magnéticos o cuadripolares especialmente diseñados o preparados, capaces de tomar “en línea” de la corriente de UF<sub>6</sub> gaseoso, muestras del material de alimentación, del “producto” o de las “colas”, y que posean todos las características siguientes:

1. Resolución unitaria para la unidad de masa superior a 320;
2. Fuentes de iones fabricadas o revestidas con cromoníquel, metal monel o galvanoniquelado;
3. Fuentes de ionización por bombardeo electrónico;
4. Presencia de un colector adaptado al 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 han sido 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 -120° C o inferiores,
- b) Unidades de refrigeración criogénicas capaces de alcanzar temperaturas de -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 alcanzar temperaturas de -20° C o inferiores.

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

##### NOTA INTRODUCTORIA

Las diferencias mínimas de masa entre los isótopos de uranio ocasiona pequeños cambios en los equilibrios de las reacciones químicas, fenómeno que puede

aprovecharse para la separación de los isótopos. Se han desarrollado con éxito dos procesos: intercambio químico líquido-líquido e intercambio iónico sólido-líquido.

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

En el proceso de intercambio iónico sólido-líquido, el enriquecimiento se consigue por adsorción/desorción del uranio en un adsorbente o resina de intercambio iónico y de acción muy rápida. Se hace pasar una solución de uranio contenida en ácido clorhídrico y otros agentes químicos a través de columnas cilíndricas de enriquecimiento que contienen lechos de relleno formado por el adsorbente. Para conseguir un proceso continuo es necesario un sistema de reflujo para liberar el uranio del adsorbente y reinyectarlo en el flujo líquido de modo que puedan recogerse el “producto” y las “colas”. Esto se realiza con ayuda de agentes químicos adecuados de reducción/oxidación que son regenerados por completo en circuitos externos independientes y que pueden ser regenerados parcialmente dentro de las propias columnas de separación isotópica. La presencia de soluciones de ácido clorhídrico concentrado 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 (es decir, columnas pulsadas de placas-tamiz, columnas de placas de movimiento alternativo y columnas dotadas de turbomezcladores internos), especialmente diseñadas o preparadas para el enriquecimiento del uranio utilizando el proceso de intercambio químico. Para que sean resistentes a la corrosión por las soluciones de ácido clorhídrico concentrado, estas columnas y su interior se fabrican o se revisten con materiales plásticos adecuados (por ejemplo, fluorocarburos polímeros) o vidrio. Las columnas han sido diseñadas para que el tiempo de residencia correspondiente a una etapa sea corto (30 segundos o menos).

#### **5.6.2. Contactores centrífugos líquido-líquido (intercambio químico)**

Contactores centrífugos líquido-líquido especialmente diseñados o preparados para el enriquecimiento del uranio utilizando procesos de intercambio químico. En estos contactores, la dispersión de las corrientes orgánica y acuosa se consigue por rotación y la separación de las fases con ayuda de una fuerza centrífuga. Para hacerlos

resistentes a la corrosión por las soluciones de ácido clorhídrico concentrado, los contactores se fabrican o se revisten con materiales plásticos adecuados (por ejemplo fluorocarburos polímeros) o se revisten con vidrio. Los contactores centrífugos han sido diseñados para que el tiempo de residencia correspondiente a una etapa sea corto (30 segundos o menos).

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

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

#### NOTA EXPLICATIVA

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

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

#### NOTA EXPLICATIVA

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

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

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

#### NOTA EXPLICATIVA

Estos sistemas comprenden equipo de purificación por disolución, extracción por solvente y/o intercambio iónico, y celdas electrolíticas para reducir el uranio  $U^{6+}$  o  $U^{4+}$

a  $U^{3+}$ . Estos sistemas producen soluciones de cloruro de uranio que solo contienen algunas partes por millón de impurezas metálicas, por ejemplo, cromo, hierro, vanadio, molibdeno y otros cationes bivalentes o de valencia más elevada. Entre los materiales de fabricación de partes del sistema de tratamiento del  $U^{3+}$  de elevada pureza figuran el vidrio, los fluorocarburos polímeros, el sulfato de polifenilo o el poliéter sulfona y el grafito impregnado con resina y con un revestimiento de plástico.

#### **5.6.5. Sistemas de oxidación del uranio (intercambio químico)**

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

#### **NOTA EXPLICATIVA**

Estos sistemas pueden contener equipo del tipo siguiente:

- a) Equipo para poner en contacto el cloro y el oxígeno con el efluente acuoso procedente del equipo de separación isotópica y extraer el  $U^{4+}$  resultante a fin de introducirlo en la corriente orgánica empobrecida procedente de la extremidad de la cascada;
- b) Equipo para separar el agua del ácido clorhídrico de modo que el agua y el ácido clorhídrico concentrado puedan ser reintroducidos en el proceso en lugares adecuados.

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

Resinas de intercambio iónico o adsorbentes de reacción rápida especialmente diseñados o preparados para el enriquecimiento del uranio por el proceso de intercambio iónico, en particular resinas macrorreticulares porosas y/o estructuras peliculares en las que los grupos de intercambio químico activos están limitados a un revestimiento superficial en un soporte poroso inactivo, y otras estructuras compuestas en forma adecuada, sobre todo partículas o fibras. Estas resinas de intercambio iónico/adsorbentes tienen un diámetro de 0,2 mm o menor y deben ser quimiorresistentes a soluciones de ácido clorhídrico concentrado y lo bastante 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 100° C y 200° C.

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

Columnas cilíndricas de más de 1 000 mm de diámetro que contienen lechos de relleno de resina de intercambio iónico/adsorbente, especialmente diseñadas o preparadas para el enriquecimiento del uranio por intercambio iónico. Estas columnas están fabricadas o protegidas con materiales (por ejemplo, titanio o plásticos de

fluorocarburo) resistentes a la corrosión por soluciones de ácido clorhídrico concentrado y pueden trabajar a temperaturas comprendidas entre 100° C y 200° C y presiones superiores a 0,7 MPa (102 psia).

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

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

#### NOTA EXPLICATIVA

El proceso de enriquecimiento por intercambio iónico puede utilizar, por ejemplo, el titanio trivalente ( $Ti^{3+}$ ) como catión reductor, en cuyo caso el sistema de reducción regeneraría el  $Ti^{3+}$  por reducción del  $Ti^{4+}$ .

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

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

#### NOTA INTRODUCTORIA

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

## NOTA EXPLICATIVA

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

### **5.7.1. Sistemas de vaporización del uranio (SILVA)**

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

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

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

## NOTA EXPLICATIVA

Los crisoles y otras partes de este sistema que están en contacto con aleaciones de uranio o uranio fundidos están fabricados o protegidos con materiales de resistencia adecuada al calor y a la corrosión. Entre los materiales adecuados figura el tántalo, el grafito revestido con itrio, el grafito revestido con otros óxidos de tierras raras o mezclas de los mismos.

### **5.7.3. Conjuntos colectores del “producto” y “colas” del uranio metálico (SILVA)**

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

## NOTA EXPLICATIVA

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

#### **5.7.4. Cajas de módulo separador (SILVA)**

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

#### NOTA EXPLICATIVA

Estas cajas poseen numerosos orificios para la alimentación eléctrica y de agua, ventanas para los haces de láser, conexiones de las bombas de vacío y el instrumental de diagnóstico y vigilancia. Están dotadas de medios de abertura y cierre para poder reajustar los componentes internos.

#### **5.7.5. Toberas de expansión supersónica (SILMO)**

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

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

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

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

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

#### **5.7.8. Obturadores para ejes de rotación (SILMO)**

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

#### **5.7.9. Sistemas de fluoración (SILMO)**

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

## NOTA EXPLICATIVA

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

### **5.7.10. Espectrómetros de masa para $UF_6$ /fuentes de iones (SILMO)**

Espectrómetros de masa magnéticos o cuadrupolares especialmente diseñados o preparados, capaces de tomar “en línea” de las corrientes de  $UF_6$  gaseoso, muestras de material de alimentación, del “producto” o de las “colas”, y que poseen todas las siguientes características:

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

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

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

- a) Autoclaves, hornos o sistemas de alimentación utilizados para introducir el  $UF_6$  en el proceso de enriquecimiento;
- b) Desublimadores (o trampas frías) utilizados para extraer el  $UF_6$  del proceso de enriquecimiento para su transferencia subsiguiente después del calentamiento;
- c) Estaciones de solidificación o licuefacción para extraer el  $UF_6$  del proceso de enriquecimiento por compresión y conversión del  $UF_6$  al estado líquido o sólido;
- d) Estaciones del “producto” o de las “colas” utilizadas para transferir el  $UF_6$  a contenedores.

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

Sistemas especialmente diseñados o preparados para separar el UF<sub>6</sub> del gas portador. El gas portador puede ser nitrógeno, argón u otro gas.

#### NOTA EXPLICATIVA

Estos sistemas pueden comprender el equipo siguiente:

- a) Intercambiadores de calor criogénicos o crioseparadores capaces de alcanzar temperaturas de -120° C o inferiores;
- b) Unidades de refrigeración criogénicas capaces de alcanzar temperaturas de -120° C o inferiores; o
- c) Trampas frías para el UF<sub>6</sub> capaces de alcanzar temperaturas de -20° C o inferiores.

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

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

#### NOTA EXPLICATIVA

El sistema láserico para el proceso SILVA está formado normalmente por dos láseres: un láser de vapor de cobre y un láser de colorante. El sistema láserico para SILMO está formado normalmente por un láser de CO<sub>2</sub> o un láser de excímero y una celda óptica de multipasos con espejos giratorios en ambos extremos. En ambos procesos los láseres o sistemas lásericos deben estar dotados de un estabilizador de frecuencia espectral para poder funcionar durante prolongados períodos de tiempo.

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

#### NOTA INTRODUCTORIA

En el proceso de separación en un plasma, un plasma de iones de uranio atraviesa un campo eléctrico acordado a la frecuencia de resonancia de los iones <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 obteniéndose 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, que pueden contener cañones de electrones de gran potencia en barrido o en franja, y que proporcionan una potencia en el blanco superior a 2,5 kW/cm.

### **5.8.4. Sistemas de manipulación del uranio metálico líquido**

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

#### **NOTA EXPLICATIVA**

Los crisoles y otras partes del sistema que puedan entrar en contacto con el uranio o aleaciones de uranio fundidos están fabricados o protegidos con materiales de resistencia adecuada a la corrosión y al calor. Entre estos materiales cabe citar el tántalo, el grafito revestido con itrio, el grafito revestido con otros óxidos de tierras raras o mezclas de estas sustancias.

### **5.8.5. Conjuntos colectores del “producto” y de las “colas” de uranio metálico**

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

### **5.8.6. Cajas de módulos separadores**

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

## NOTA EXPLICATIVA

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

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

#### NOTA INTRODUCTORIA

En el proceso electromagnético, los iones de uranio metálico producidos por ionización de una sal (normalmente  $UCl_4$ ) después de ser acelerados atraviesan un campo electromagnético, que hace que los iones de los diferentes isótopos sigan trayectorias diferentes. Los principales componentes de un separador electromagnético de isótopos son: un campo magnético causante de la desviación del haz iónico y de la separación de los isótopos, una fuente de iones con su sistema de aceleración y un sistema colector para recoger los iones separados. Los sistemas auxiliares del proceso comprenden la alimentación del imán, la alimentación de alta tensión de la fuente de iones, la instalación de vacío e importantes sistemas de manipulación química para la recuperación del producto y la depuración/reciclado de los componentes.

#### **5.9.1. Separadores electromagnéticos de isótopos**

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

a) Fuentes de iones

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

b) 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 trabajar a presiones de 0,1 Pa o inferiores.

#### NOTA EXPLICATIVA

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

d) Piezas polares de los imanes

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

#### **5.9.2. Alimentación de alta tensión**

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

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

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

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

#### NOTA INTRODUCTORIA

El agua pesada puede producirse por varios procesos. No obstante, los dos procesos que han demostrado ser viables desde el punto de vista comercial son el proceso de intercambio agua-sulfuro de hidrógeno (proceso GS) y el proceso de intercambio 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 subsiguientes. El producto de la última etapa, o sea el agua enriquecida hasta un 30 % en deuterio, se envía a una unidad de destilación para producir agua pesada utilizable en reactores, es decir, óxido de deuterio al 99,75 %.

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

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

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

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

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

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

### **6.2. Sopladores y compresores**

Sopladores o compresores centrífugos, de etapa única y baja presión (es decir, 0,2 MPa o 30 psi), para la circulación del sulfuro de hidrógeno gaseoso (es decir, gas que contiene más de 70 % de H<sub>2</sub>S) especialmente diseñados o preparados para producción de agua pesada por el proceso de intercambio agua-sulfuro de hidrógeno. Estos sopladores o compresores tienen una capacidad de caudal superior o igual a 56 m<sup>3</sup>/segundo (120 000 SCFM) al funcionar a presiones de aspiración superiores o iguales a 1,8 MPa (260 psi), y tienen juntas diseñadas para trabajar en un medio húmedo con H<sub>2</sub>S.

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

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

### **6.4. Partes internas de la torre y bombas de etapa**

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

### **6.5. Fraccionadores de amoniaco**

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

### **6.6. Analizadores de absorción infrarroja**

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

## **6.7. Quemadores catalíticos**

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

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

### NOTA INTRODUCTORIA

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

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

#### NOTA EXPLICATIVA

La conversión de los concentrados de mineral uranífero en  $UO_3$  puede realizarse disolviendo primero el mineral en ácido nítrico y extrayendo el nitrato de uranio purificado con ayuda de un solvente como el fosfato de tributilo. A continuación, el nitrato de uranio es convertido en  $UO_3$  ya sea por concentración y desnitrificación o por neutralización con gas amoniaco para producir un diuranato de amonio que después es sometido a filtración, secado y calcinación.

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

#### NOTA EXPLICATIVA

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

**7.3. Sistemas especialmente diseñados o preparados para la conversión del  $\text{UO}_3$  en  $\text{UO}_2$**

NOTA EXPLICATIVA

La conversión del  $\text{UO}_3$  en  $\text{UO}_2$  puede realizarse por reducción del  $\text{UO}_3$  por medio de hidrógeno o gas amoníaco craqueado.

**7.4. Sistemas especialmente diseñados o preparados para la conversión del  $\text{UO}_2$  en  $\text{UF}_4$**

NOTA EXPLICATIVA

La conversión del  $\text{UO}_2$  en  $\text{UF}_4$  puede realizarse haciendo reaccionar el  $\text{UO}_2$  con ácido fluorhídrico gaseoso (HF) a 300-500° C.

**7.5. Sistemas especialmente diseñados o preparados para la conversión del  $\text{UF}_4$  en  $\text{UF}_6$**

NOTA EXPLICATIVA

La conversión del  $\text{UF}_4$  en  $\text{UF}_6$  se realiza por reacción exotérmica con flúor en un reactor de torre. El  $\text{UF}_6$  es condensado a partir de los efluentes gaseosos calientes haciendo pasar los efluentes por una trampa fría enfriada a -10° C. El proceso necesita una fuente de flúor gaseoso.

**7.6. Sistemas especialmente diseñados o preparados para la conversión del  $\text{UF}_4$  en U metálico**

NOTA EXPLICATIVA

La conversión del  $\text{UF}_4$  en U metálico se realiza por reducción con magnesio (grandes cantidades) o calcio (pequeñas cantidades). La reacción se efectúa a una temperatura superior al punto de fusión del uranio (1 130° C).

**7.7. Sistemas especialmente diseñados o preparados para la conversión del  $\text{UF}_6$  en  $\text{UO}_2$**

NOTA EXPLICATIVA

La conversión del  $\text{UF}_6$  en  $\text{UO}_2$  puede realizarse por tres procesos diferentes. En el primero, el  $\text{UF}_6$  es reducido e hidrolizado en  $\text{UO}_2$  con ayuda de hidrógeno y vapor. En el segundo, el  $\text{UF}_6$  es hidrolizado por disolución en agua; la adición de amoníaco precipita el diuranato de amonio que es reducido a  $\text{UO}_2$  por el hidrógeno a una temperatura de 820° C. En el tercer proceso, el  $\text{NH}_3$ , el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{UF}_6$  gaseosos se combinan en el agua, lo que ocasiona la precipitación del carbonato de uranilo y de amonio. Este carbonato se combina con el vapor y el hidrógeno a 500-600° C para producir el  $\text{UO}_2$ .

La conversión del  $\text{UF}_6$  en  $\text{UO}_2$  constituye a menudo la primera etapa que se realiza en una planta de fabricación de combustible.

**7.8. Sistemas especialmente diseñados o preparados para la conversión del  $\text{UF}_6$  en  $\text{UF}_4$**

NOTA EXPLICATIVA

La conversión del  $\text{UF}_6$  en  $\text{UF}_4$  se realiza por reducción con hidrógeno.