



Organismo Internacional de Energía Atómica

CIRCULAR INFORMATIVA

INF

IAEA - INFCIRC/209/Rev.1/Mod.2
Agosto de 1994

Distr. GENERAL

ESPAÑOL

Original: ESPAÑOL,
FRANCS E INGLES

COMUNICACIONES RECIBIDAS DE ESTADOS MIEMBROS RELATIVAS A LA EXPORTACION
DE MATERIALES NUCLEARES Y DE DETERMINADAS CATEGORIAS DE EQUIPO
Y OTROS MATERIALES

1. El Director General recibió cartas relativas a la exportación de materiales nucleares y de determinadas categorías de equipo y otros materiales de los siguientes Representantes Permanentes ante el Organismo Internacional de Energía Atómica: una carta fechada el 28 de febrero de 1994 del Representante Permanente de Francia; cartas fechadas el 1 de marzo de 1994 de los Representantes Permanentes de Alemania, Australia, Austria, Bulgaria, Canadá, Dinamarca, España, Estados Unidos de América, Finlandia, Grecia, Hungría, Irlanda, Japón, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte, República Checa y Suecia; una carta fechada el 22 de marzo de 1994 del Representante Permanente de Rumania.
2. Teniendo en cuenta el deseo expresado al final de cada una de las cartas, el texto de las mismas se adjunta al presente documento.

ADITAMENTO

CARTA

Tengo el honor de dirigirme a Vd. con referencia a [comunicación(ciones) previa(s) pertinente(s)] del Representante Permanente de [Estado Miembro] ante el Organismo Internacional de Energía Atómica.

En los años transcurridos desde la formulación de los procedimientos descritos en la INFCIRC/209, para la exportación de determinadas categorías de equipo y otros materiales especialmente diseñados o preparados para el tratamiento, uso o producción de material fisiónable especial, se han registrado considerables cambios en la tecnología nuclear que hacen deseable aclarar las partes de la lista inicial originariamente incorporada al memorando B de la INFCIRC/209. Dichas aclaraciones han sido objeto de los documentos INFCIRC/209/Mod.1, 2, 3 y 4 (refundidos en el documento INFCIRC/209/Rev.1) y del documento INFCIRC/209/Rev.1/Mod.1.

Mi Gobierno ahora estima que sería conveniente aclarar aquellas partes de la lista inicial que se refieren al equipo especialmente diseñado o preparado para la separación de isótopos de uranio, y a las bombas del refrigerante primario. Por consiguiente, deseo informar a Vd. que las actuales secciones 1 y 5 del Anexo del documento INFCIRC/209/Rev.1 (Aclaraciones relativas a artículos de la lista inicial), deberían ser reemplazadas por el texto que figura en el Aditamento de la presente carta.

Como en el pasado, mi Gobierno reserva a su propia discreción la interpretación y aplicación de los procedimientos establecidos, así como el derecho de controlar, si lo estima deseable, la exportación de los artículos pertinentes que no sean los especificados en el Aditamento de esta carta.

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

Mucho agradecería se sirviera transmitir el texto de la presente carta y el de su Aditamento a todos los Estados Miembros, para su conocimiento.

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

ANEXO

ACLARACIONES RELATIVAS A ARTICULOS QUE FIGURAN EN LA LISTA INICIAL

(Conforme a la sección 2 del Memorando B)

1. Reactores y equipo para los mismos

1.1. Reactores nucleares completos

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

NOTA EXPLICATIVA

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

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

EXPORTACIONES

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

1.2. Vasijas de presión de los reactores

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

NOTA EXPLICATIVA

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

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

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

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

1.4. Barras de control para reactores

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

NOTA EXPLICATIVA

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

1.5. Tubos de presión para reactores

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

1.6. Tubos de circonio

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

1.7. Bombas del refrigerante primario

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

NOTA EXPLICATIVA

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

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

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

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

NOTA INTRODUCTORIA

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

5.1.1. Componentes rotatorios

a) Conjuntos rotores completos:

Cilindros de paredes delgadas, o un número de tales cilindros interconectados, construidos con uno o varios de los materiales de elevada razón resistencia/densidad descritos en la NOTA EXPLICATIVA de esta sección. Cuando se hallan interconectados, los cilindros están unidos por fuelles flexibles o anillos según se describe en la Sección 5.1.1 c) infra. El rotor está provisto de una o varias pantallas internas y tapones en el extremo según se describe en la Sección 5.1.1 d) y e), en su forma final. Sin embargo, el conjunto completo se puede también entregar solo parcialmente montado.

b) Tubos rotores:

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

c) Anillos o fuelles:

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

d) Pantallas:

Componentes en forma de disco de 75 mm (3 pulgadas) a 400 mm (16 pulgadas) de diámetro especialmente diseñados o preparados para ser montados dentro del tubo rotor de la centrifugadora a fin de aislar la cámara de toma de la cámara principal de separación y, en algunos casos, de facilitar la circulación del UF₆ gaseoso dentro de la cámara principal de separación del tubo rotor; están fabricados con uno de los materiales de elevada razón resistencia/densidad descritos en la NOTA EXPLICATIVA de esta sección.

e) Tapones superiores/tapones inferiores:

Componentes en forma de disco de 75 mm (3 pulgadas) a 400 mm (16 pulgadas) de diámetro especialmente diseñados o preparados para ajustarse a los extremos del tubo rotor y contener así el UF₆ dentro de dicho tubo, y, en algunos casos, apoyar, retener o contener como una parte integrante un elemento de soporte superior (tapón superior) o sostener los elementos rotatorios del motor y del soporte inferior (tapón inferior); están fabricados con uno de los materiales de elevada razón resistencia/densidad descritos en la NOTA EXPLICATIVA de esta sección.

NOTA EXPLICATIVA

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

- a) Acero martensítico con una resistencia máxima a la tracción de $2,05 \cdot 10^9$ N/m² (300 000 psi) o más;
- b) Aleaciones de aluminio con una resistencia máxima a la tracción de $0,46 \cdot 10^9$ N/m² (67 000 psi) o más;

- c) Materiales filamentosos apropiados para su uso en estructuras compuestas y que poseen un módulo específico de $12,3 \cdot 10^6$ m o mayor, y una resistencia máxima a la tracción de $0,3 \cdot 10^6$ m o más (el "módulo específico" es el módulo de Young expresado en N/m^2 dividido por el peso específico expresado en N/m^3 ; la "resistencia máxima a la tracción específica" es la resistencia máxima a la tracción expresada en N/m^2 dividida por el peso específico expresado en N/m^3).

5.1.2. Componentes estáticos

- a) Soportes de suspensión magnética:

Conjuntos de suspensión especialmente diseñados o preparados consistentes en un electroimán anular suspendido dentro de una caja que contiene un medio amortiguador. La caja se fabrica con un material resistente al UF, (véase la NOTA EXPLICATIVA de la Sección 5.2). El imán se acopla con una pieza polar o con un segundo imán montado en el tapón superior descrito en la Sección 5.1.1 e). El imán puede tener forma anular con una relación inferior o igual a 1,6:1 entre el diámetro exterior y el interior. El imán puede presentar una permeabilidad inicial de 0,15 H/m (120 000 en unidades CGS) o más, o una remanencia de 98,5% o más, o un producto de energía de más de 80 kJ/m^3 (10^7 gauss-cersteds). Además de las propiedades usuales de los materiales, es requisito esencial que la desviación de los ejes magnéticos respecto de los geométricos no exceda de muy pequeñas tolerancias (menos de 0,1 mm o 0,004 pulgadas) y que la homogeneidad del material del imán sea muy elevada.

- b) Soportes amortiguadores:

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

- c) Bombas moleculares:

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

d) Estatores de motores:

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

e) Recipientes/cajas de centrifugadoras:

Componentes especialmente diseñados o preparados para alojar un conjunto de tubos rotores de una centrifugadora de gas. La caja está formada por un cilindro rígido, siendo el espesor de la pared de hasta 30 mm (1,2 pulgadas), con los extremos maquinados con precisión para contener los soportes y con una o varias bridas para el montaje. Los extremos maquinados son paralelos entre sí y perpendiculares al eje longitudinal del cilindro con una desviación de 0,05 grados o menos. La caja puede ser también una estructura alveolar para contener varios tubos o rotores. Las cajas están construidas o revestidas con materiales resistentes a la corrosión por el UF₆.

f) Paletas:

Tubos especialmente diseñados o preparados de hasta 12 mm (0,05 pulgadas) de diámetro interno para la extracción del UF₆ 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 UF₆.

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

NOTA INTRODUCTORIA

Los sistemas, equipo y componentes auxiliares de una planta de enriquecimiento por centrifugación gaseosa son los necesarios en una instalación para introducir el UF₆ en las centrifugadoras, conectar entre sí las centrifugadoras para que formen cascadas (o etapas) que conduzcan a valores progresivamente elevados de enriquecimiento y para extraer el "producto" y las "colas" del UF₆ de las centrifugadoras; también se incluye en esta categoría el equipo necesario para propulsar las centrifugadoras y para el control de la maquinaria.

Normalmente, el UF₆ se evapora en su fase sólida con ayuda de autoclaves calientes y se distribuye en estado gaseoso a las centrifugadoras por medio de un colector tubular en cascada. El "producto" y las "colas" se introducen en un sistema a trampas frías (que funcionan a unos 203 K (-70° C)), donde se condensan antes de ser transferidos a

recipientes apropiados para su transporte o almacenamiento. Como una planta de enriquecimiento consiste en muchos miles de centrifugadoras conectadas en cascada, hay también muchos kilómetros de tuberías con millares de soldaduras y una considerable repetición de montajes. El equipo, componentes y sistemas de tuberías deben fabricarse observando normas muy rigurosas de vacío y limpieza.

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

Sistemas especialmente diseñados o preparados, en particular:

Autoclaves de alimentación (o estaciones) utilizados para introducir el UF₆ en las cascadas de centrifugadoras a presiones de hasta 100 kPa (15 psi) y a un caudal de 1 kg/h o más;

Desublimadores (o trampas frías) utilizados para extraer el UF₆ de las cascadas a una presión de hasta 3 kPa (0,5 psi). Los desublimadores pueden enfriarse hasta 203 K (-70° C) y calentarse hasta 343 K (70° C);

Estaciones para el "producto" y las "colas", utilizadas para transferir el UF₆ a contenedores.

Estos componentes, equipo y tuberías están enteramente fabricados o revestidos con materiales resistentes al UF₆ (véase la NOTA EXPLICATIVA de esta sección) y deben fabricarse observando normas muy rigurosas de vacío y limpieza.

5.2.2. Sistemas de tuberías y colectores

Sistemas de tuberías y colectores especialmente diseñados o preparados para manipular el UF₆ dentro de las centrifugadoras en cascada. Esta red de tuberías es normalmente del tipo de colector "triple" y cada centrifugadora se halla conectada a cada uno de los colectores. Por lo tanto, su configuración se repite considerablemente. Están fabricados por completo con materiales resistentes al UF₆ (véase la NOTA EXPLICATIVA de esta sección) y deben fabricarse observando normas muy rigurosas de vacío y limpieza.

5.2.3. Espectrómetros de masa para UF₆/fuentes de iones

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

1. Resolución unitaria para la unidad de masa atómica superior a 320;
2. Fuentes de iones fabricadas o revestidas con cromoníquel, metal monel o galvanoníquelado;

3. Fuentes de ionización por bombardeo electrónico;
4. Se hallan provistos de un sistema colector adaptado al análisis isotópico.

5.2.4. Transformadores de frecuencia

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

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

NOTA EXPLICATIVA

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

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

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

NOTA INTRODUCTORIA

En el método de difusión gaseosa para la separación de los isótopos de uranio, la principal unidad tecnológica consiste en una barrera porosa especial para la difusión gaseosa, un intercambiador de calor para enfriar el gas (que ha sido calentado por el proceso de compresión), válvulas de estanqueidad y de control, y tuberías. Puesto que la tecnología de difusión gaseosa utiliza el hexafluoruro de uranio (UF₆), todo el equipo, tuberías y superficies de instrumentos (que entran en contacto con el gas) deben fabricarse con materiales que permanecen estables al contacto con el UF₆. Una instalación de difusión gaseosa requiere determinado número de unidades de este tipo, de modo que dicho número puede proporcionar indicaciones importantes respecto del uso final.

5.3.1. Barreras de difusión gaseosa

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

5.3.2. Cajas de difusores

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

5.3.3. Compresores y sopladores de gas

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

5.3.4. Obturadores para ejes de rotación

Obturadores de vacío especialmente diseñados o preparados, con conexiones selladas de entrada y de salida para asegurar la estanqueidad de los ejes que conectan los rotores de los compresores o de los sopladores de gas con los motores de propulsión para asegurar que el sistema disponga de un sellado fiable a fin de evitar la penetración de aire en la cámara interior del compresor o del soplador de gas llena de

UF₆. Normalmente tales obturadores están diseñados para una tasa de penetración de gas separador inferior a 1 000 cm³/min (60 pulgadas³/min).

5.3.5. Intercambiadores de calor para enfriamiento del UF₆

Intercambiadores de calor especialmente diseñados o preparados, fabricados o recubiertos con materiales resistentes al UF₆ (excepto el acero inoxidable) o con cobre o cualquier combinación de dichos metales, y concebidos para una tasa de variación de presión por pérdida inferior a 10 Pa (0,0015 psi) por hora para una diferencia de presión de 100 kPa (15 psi).

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

NOTA INTRODUCTORIA

Los sistemas, equipo y componentes auxiliares de plantas de enriquecimiento por difusión gaseosa son los sistemas necesarios para introducir el UF₆ en los montajes de difusión gaseosa y unir entre sí cada montaje para formar cascadas (o etapas) que permitan el progresivo enriquecimiento y la extracción, de dichas cascadas, del "producto" y las "colas" de UF₆. Debido al elevado carácter inercial de las cascadas de difusión, cualquier interrupción de su funcionamiento y especialmente su parada trae consigo graves consecuencias. Por lo tanto, el mantenimiento estricto y constante del vacío en todos los sistemas tecnológicos, la protección automática contra accidentes y una regulación automática muy precisa del flujo de gas revisten la mayor importancia en una planta de difusión gaseosa. Todo ello tiene por consecuencia la necesidad de equipar la planta con un gran número de sistemas especiales de medición, regulación y control.

Normalmente, el UF₆ se evapora en cilindros colocados dentro de autoclaves y se distribuye en forma gaseosa al punto de entrada por medio de colectores tubulares en cascada. Las corrientes gaseosas del "producto" y las "colas", procedentes de los puntos de salida, son conducidas por medio de colectores tubulares en cascada hacia trampas frías o hacia unidades de compresión, donde el UF₆ gaseoso es licuefiado antes de ser introducido dentro de contenedores apropiados para su transporte o almacenamiento. Dado que una planta de enriquecimiento por difusión gaseosa se compone de un gran número de unidades de difusión gaseosa dispuestas en cascadas, hay muchos kilómetros de tubos de alimentación en cascada con miles de soldaduras y un número considerable de repeticiones. El equipo, los componentes y las tuberías se fabrican observando normas muy rigurosas de vacío y limpieza.

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

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

Autoclaves de alimentación (o sistemas) utilizados para introducir el UF₆ en la cascada de difusión gaseosa;

Desublimadores (trampas frías) utilizados para extraer el UF₆ de las cascadas de difusión;

Estaciones de licuefacción en las que el UF₆ gaseoso procedente de la cascada es comprimido y enfriado para obtener UF₆ líquido;

Estaciones del "producto" o las "colas" usadas para transferir el UF₆ a los contenedores.

5.4.2. Sistemas colectores

Tuberías y colectores especialmente diseñados o preparados para manipular el UF₆ dentro de las cascadas de difusión gaseosa. Normalmente, las tuberías forman parte del sistema colector doble en el que cada unidad está conectada a cada uno de los colectores.

5.4.3. Sistemas de vacío

a) Grandes distribuidores de vacío, colectores de vacío y bombas de vacío, especialmente diseñados o preparados, con una capacidad mínima de aspiración de 5 m³/min (175 pies³/min).

b) Bombas de vacío especialmente diseñadas para funcionar en una atmósfera de UF₆, fabricadas o revestidas con aluminio, níquel o aleaciones que contengan más del 60% de níquel. Dichas bombas pueden ser rotativas o impelentes, de desplazamiento; estar dotadas de juntas de fluorocarburo y tener fluidos especiales de trabajo.

5.4.4. Válvulas especiales de parada y control

Válvulas de fuelle de parada y de control, manuales o automáticas, especialmente diseñadas o preparadas, fabricadas con materiales resistentes al UF₆, 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 UF₆/fuentes de iones

Espectrómetros de masa magnéticos o cuadripolares, especialmente diseñados o preparados, capaces de tomar "en línea" de flujos de UF₆,

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

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

NOTA EXPLICATIVA

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

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

NOTA INTRODUCTORIA

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

NOTA EXPLICATIVA

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

5.5.1. Toberas de separación

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

5.5.2. Tubos vorticiales

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

NOTA EXPLICATIVA

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

5.5.3. Compresores y sopladores de gas

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

NOTA EXPLICATIVA

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

5.5.4. Obturadores para ejes de rotación

Obturadores para ejes de rotación especialmente diseñados o preparados, con conexiones selladas de entrada y de salida para asegurar la estanqueidad del eje que conecta el rotor del compresor o el rotor del soplador de gas con el motor de propulsión a fin de asegurar un sellado fiable para evitar las fugas del gas de trabajo o la penetración de aire o del gas de sellado en la cámara interior del compresor o del soplador de gas llena con una mezcla de UF₆/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 UF₆.

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 UF₆, 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 UF₆, en particular:

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

5.5.8. Sistemas colectores

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

5.5.9. Bombas y sistemas de vacío

- a) Sistemas de vacío especialmente diseñados o preparados, con una capacidad de aspiración de 5 m³/min o más, y que comprenden distribuidores de vacío, colectores de vacío y bombas de vacío, y que han sido diseñados para trabajar en una atmósfera de UF_6 .
- b) Bombas de vacío especialmente diseñadas o preparadas para trabajar en una atmósfera de UF_6 , fabricadas o revestidas con materiales resistentes a la corrosión por el UF_6 . Estas bombas pueden estar dotadas de juntas de fluorocarburo y tener fluidos especiales de trabajo.

5.5.10. Válvulas especiales de parada y control

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

5.5.11. Espectrómetros de masa para UF_6 /fuentes de iones

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

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

5.5.12. Sistemas de separación UF_6 /gas portador

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

NOTA EXPLICATIVA

Estos sistemas han sido diseñados para reducir el contenido de UF₆ 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 UF₆ del gas portador, o
- d) Trampas frías para el UF₆ 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 ocasionan pequeños cambios en los equilibrios de las reacciones químicas, fenómeno que puede aprovecharse para la separación de los isótopos. Se han desarrollado con éxito dos procesos: intercambio químico líquido-líquido e intercambio iónico sólido-líquido.

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

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

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

NOTA EXPLICATIVA

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

5.6.5. Sistemas de oxidación del uranio (intercambio químico)

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

NOTA EXPLICATIVA

Estos sistemas pueden contener equipo del tipo siguiente:

- a) Equipo para poner en contacto el cloro y el oxígeno con el efluente acuoso procedente del equipo de separación

isotópica y extraer el U^{4+} resultante a fin de introducirlo en la corriente orgánica empobrecida procedente de la extremidad de la cascada, y

- b) equipo para separar el agua del ácido clorhídrico de modo que el agua y el ácido clorhídrico concentrado puedan ser reintroducidos en el proceso en lugares adecuados.

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

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

5.6.7. Columnas de intercambio iónico (intercambio iónico)

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

5.6.8. Sistemas de reflujo (intercambio iónico)

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

NOTA EXPLICATIVA

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

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

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

NOTA INTRODUCTORIA

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

NOTA EXPLICATIVA

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

níquel o las aleaciones que contengan el 60% o más de níquel y los polímeros de hidrocarburos totalmente fluorados resistentes al UF₆.

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/cm².

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

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

NOTA EXPLICATIVA

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

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

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

NOTA EXPLICATIVA

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

5.7.4. Cajas de módulo separador (SILVA)

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

NOTA EXPLICATIVA

Estas cajas poseen numerosos orificios para la alimentación eléctrica y de agua, ventanas para los haces 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_6 (sólido) en UF_6 (gaseoso).

NOTA EXPLICATIVA

Estos sistemas han sido diseñados para fluorar el polvo de UF_6 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_6 puede ser retirado de los colectores

del "producto" para introducirlo en una vasija adecuada de reacción (por ejemplo, un reactor de lecho fluidizado, un reactor helicoidal o torre de llama) para la fluoración. En ambos métodos, se utiliza equipo de almacenamiento y transferencia del flúor (u otros agentes adecuados de fluoración), y de recogida y transferencia del UF₆.

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

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

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

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

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

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

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

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

NOTA EXPLICATIVA

Estos sistemas pueden comprender el equipo siguiente:

- a) Intercambiadores de calor criogénicos o crioseparadores capaces de alcanzar temperaturas de -120°C o menos,
- b) Unidades de refrigeración criogénicas capaces de alcanzar temperaturas de -120°C o menos, o
- c) Trampas frías para el UF_6 capaces de alcanzar temperaturas de -20°C o menos.

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

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

NOTA EXPLICATIVA

El sistema láserico del proceso SILVA está formado normalmente por dos láseres: un láser de vapor de cobre y un láser de colorante. El sistema láserico de SILMO está formado normalmente por un láser de CO_2 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.

Los láseres y los componentes lásericos importantes en los procesos de enriquecimiento por láser son los siguientes:

Láseres, osciladores y amplificadores lásericos:

- a) Láseres de vapor de cobre con una potencia salida media igual o superior a 40 W, funcionando con longitudes de ondas comprendidas entre 500 nm y 600 nm;
- b) Láseres de iones de argón con una potencia a la salida media superior a 40 W, funcionando con longitudes de onda comprendidas entre 400 nm y 515 nm;
- c) Láseres activados con neodimio (distintos de los de vidrio) como se indica a continuación:
 - 1) Con una longitud de onda a la salida comprendida entre 1 000 nm y 1 100 nm, de excitación por impulsos y conmutados en Q, con una duración del impulso igual o superior a 1 ns y que poseen una de las dos características siguientes:
 - a) una potencia monomodal transversal con una potencia media a la salida superior a 40 W;
 - b) una potencia multimodal transversal con una potencia media a la salida superior a 50 W;

2) Funcionando con una longitud de onda comprendida entre 1 000 nm y 1 100 nm y dotados de un duplicador de frecuencia que da una longitud de onda a la salida comprendida entre 500 nm y 550 nm con una potencia media a la frecuencia doble (nueva longitud de onda) superior a 40 W;

d) Osciladores de colorantes sintonizables y monomodales, de régimen pulsado, con una potencia media a la salida superior a 1 W, una frecuencia de repetición superior a 1 kHz, una anchura del impulso inferior a 100 ns y una longitud de onda comprendida entre 300 nm y 800 nm;

f) Láseres de alexandrita con una anchura de banda de 0,005 nm o menos, una frecuencia de repetición superior a 125 Hz, y una potencia a la salida media superior a 30 W, y funcionando con longitudes de onda comprendidas entre 720 nm y 800 nm;

g) Láseres de dióxido de carbono, en régimen pulsado, con una frecuencia de repetición superior a 250 Hz, una potencia media a la salida superior a 500 W y un impulso inferior a 200 ns, funcionando con longitudes de onda comprendidas entre 9 000 nm y 11 000 nm;

N.B.: Estas especificaciones no se refieren a los láseres industriales de CO₂ de potencia más elevada (normalmente de 1 a 5 kW) utilizados en aplicaciones como corte y soldadura, ya que dichos gases funcionan en régimen ondulatorio continuo o en régimen pulsado con una anchura de un impulso de más de 200 ns.

h) Láseres de excímero (XeF, XeCL, KrF), en régimen pulsado, con una frecuencia de repetición superior a 250 Hz y con una potencia media a la salida superior a 500 W, funcionando con longitudes de onda comprendidas entre 240 y 360 nm;

i) Aparatos de corrimiento Raman de parahidrógeno diseñados para funcionar a una longitud de onda de salida de 16 μm y una frecuencia de repetición superior a 250 Hz.

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

NOTA INTRODUCTORIA

En el proceso de separación en un plasma, un plasma de iones de uranio atraviesa un campo eléctrico acordado a la frecuencia de resonancia de los iones ²³⁵U, de modo que estos últimos absorban preferentemente la energía y aumente el diámetro de sus órbitas helicoidales. Los iones que recorren una trayectoria de gran diámetro son atrapados obteniéndose un producto enriquecido en ²³⁵U. El plasma, creado por ionización del vapor de uranio, está contenido en una cámara de vacío sometida a un campo magnético de elevada intensidad producido por un imán supraconductor. Los principales sistemas tecnológicos del proceso comprenden el sistema de generación del plasma de uranio, el módulo

separador con el imán superconductor 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 destinados a alojar una fuente de plasma de uranio, una bobina excitadora de radiofrecuencia y los colectores del "producto" y de las "colas".

NOTA EXPLICATIVA

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

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

NOTA INTRODUCTORIA

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

5.9.1. Separadores electromagnéticos de isótopos

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

a) Fuentes de iones

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

b) 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 ocho 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%.