Naciones Unidas S/2001/561

Consejo de Seguridad

Distr. general
5 de junio de 2001
Español
Original: inglés

Carta de fecha 4 de junio de 2001 dirigida al Presidente del Consejo de Seguridad por el Secretario General

Tengo el honor de transmitirle la comunicación adjunta, de fecha 1° de junio de 2001, que he recibido del Director General del Organismo Internacional de Energía Atómica.

Le agradecería se sirviera señalar esta comunicación a la atención del Consejo de Seguridad.

(*Firmado*) Kofi A. **Annan**

01-40666 (S) 200701 270701
0140666

Anexo

Carta de fecha 1° de junio de 2001 dirigida al Secretario General por el Director General del Organismo Internacional de Energía Atómica

Le agradecería se sirviera transmitir la carta que figura en el apéndice al Presidente del Consejo de Seguridad.

(*Firmado*) Mohamed **El Baradei**

Apéndice

Carta de fecha 1° de junio de 2001 dirigida al Presidente del Consejo de Seguridad por el Director General del Organismo Internacional de Energía Atómica

En el párrafo 8 de la resolución 1284 (1999), el Consejo de Seguridad pidió que se reanudara la revisión y actualización de las listas de artículos y tecnología a los que se aplica el mecanismo encargado de las importaciones y exportaciones aprobado en virtud de la resolución 1051 (1996) del Consejo.

Tal como se indica en el párrafo 9 de la resolución 1051 (1996), los anexos de los planes de vigilancia y verificación permanentes aprobados en virtud de la resolución 715 (1991) enumeran los artículos y las tecnologías sobre los que se deben presentar notificaciones con arreglo al mecanismo encargado de las importaciones y exportaciones. En relación con los asuntos nucleares, dicho documento es el anexo 3 del plan de vigilancia y verificación permanentes del Organismo, aprobado en virtud de la resolución 715 (1991) y posteriormente revisado y publicado de nuevo en los documentos S/1995/215 y Corr.1 y 2.

Tal como se establece en el párrafo 9 de la resolución 1051 (1996), las listas de artículos y tecnologías a los que se aplica el mecanismo encargado de las importaciones y exportaciones podrán enmendarse de conformidad con los planes de vigilancia y verificación permanentes. El párrafo 41 del plan del Organismo (S/22872 y Corr.1) dice lo siguiente:

> “El plan sólo podrá ser revisado por el Consejo de Seguridad. Sin embargo, luego de informar al Consejo de Seguridad, el OIEA podrá actualizar y revisar los anexos a la luz de la información y la experiencia que se recojan durante la aplicación de las resoluciones 687 y 707 y del plan. El OIEA informará al Iraq sobre todo cambio de esa índole.”

En el párrafo 19 de la resolución 1330 (2000) se pedía que la revisión y actualización de las listas de artículos y tecnología se enviara al Consejo “para el fin de este período”, entendiéndose este último en el sentido del párrafo 1 de la misma resolución como “ciento ochenta días contados a partir del 6 de diciembre de 2000, a las 0.01 horas, hora de Nueva York”, es decir, el 4 de junio de 2001.

En consecuencia, tal como se establece en el párrafo 41 del plan del Organismo, en el párrafo 9 de la resolución 1051 (1996), en el párrafo 8 de la resolución 1284 (1999) y en el párrafo 19 de la resolución 1330 (2000), el OIEA desea informar al Consejo de Seguridad de que el anexo 3 del plan del OIEA, en el que se recoge la lista de los artículos y las tecnologías nucleares y conexos a los que se aplica el mecanismo encargado de las importaciones y exportaciones, se enmendará en el sentido del texto adjunto a la presente carta y se informará de ello a las autoridades iraquíes.

Le agradecería se sirviera señalar esta cuestión a la atención de los miembros del Consejo de Seguridad.

(*Firmado*) Mohamed **El Baradei**

Anexo 3

Lista de elementos que deben comunicarse al OIEA

Índice

		Página
	Disposiciones generales	8
	Materiales nucleares	12
1.	*Materiales nucleares	12
	Materiales no nucleares	13
2.	Aleaciones de aluminio	13
3.	Berilio	13
4.	Bismuto	13
5.	Boro	14
6.	Calcio	14
7.	Trifluoruro de cloro	14
8.	“Materiales fibrosos o filamentosos” y productos preimpregnados	14
9.	Hafnio	15
10.	*Litio	16
11.	Magnesio	16
12.	*Acero al níquel con bajo contenido de carbono	16
13.	Radio-226 (^{226}Ra)	16
14.	Titanio	17
15.	Tungsteno	17
16.	Circonio	17
17.	Níquel	17
18.	*Tritio	18
19.	*Helio-3	18
20.	Fuentes de radiación alfa	19
21.	Tántalo	20
	*Plantas de separación de isótopos de uranio y equipo, excepto instrumentos de análisis, especialmente concebidos o preparados para esta actividad	20
22.	*Centrífugas de gas y conjuntos y componentes especialmente concebidos o preparados para su utilización en centrífugas de gas	21
23.	*Sistemas, equipo y componentes auxiliares especialmente concebidos y preparados para plantas de enriquecimiento por centrifugación gaseosa	24

24. *Conjuntos y componentes especialmente concebidos o preparados para su uso en el enriquecimiento por difusión gaseosa . . . 25

25. *Sistemas, equipo o componentes auxiliares especialmente concebidos o preparados para su utilización en procesos de enriquecimiento por difusión gaseosa. . . . 27

26. *Sistemas, equipo y componentes especialmente concebidos o preparados para su utilización en plantas de enriquecimiento aerodinámico . . . 29

27. *Sistemas, equipos y componentes especialmente concebidos o preparados para su utilización en plantas de enriquecimiento por intercambio químico o por intercambio iónico . . . 32

28. *Sistemas, equipo y componentes para su utilización en plantas de enriquecimiento por láser . . . 36

29. *Sistemas, equipo y componentes especialmente concebidos o preparados para su utilización en plantas de enriquecimiento por separación en un plasma. . . . 41

30. *Sistemas, equipo y componentes utilizados en plantas de enriquecimiento electromagnético . . . 43

Instrumentos analíticos y sistemas de control de proceso utilizados en el enriquecimiento de uranio. . . . 46

31. *Espectrómetros de masa . . . 46

32. Sistemas de instrumentación y control de procesos para su utilización en enriquecimiento. . . . 46

33. *Programas lógicos especialmente concebidos para el control de plantas o instalaciones de enriquecimiento de uranio . . . 47

Otras plantas de separación de isótopos . . . 47

34. Plantas de obtención de agua pesada, deuterio y compuestos de deuterio y equipo para las mismas . . . 47

35. *Plantas y equipo especialmente concebidos para la separación de litio-6. . . . 51

36. *Instalaciones o plantas y equipo para la producción de tritio . . . 51

Plantas y equipo para la conversión de uranio y plutonio . . . 52

37. Sistemas especialmente concebidos o preparados para la conversión de concentrados de mena uranífera en UO_3 . . . 53

38. *Sistemas especialmente concebidos o preparados para la conversión de UO_3 en UF_6. . . . 53

39. Sistemas especialmente concebidos o preparados para la conversión de UO_3 en UO_2 . . . 53

40. *Sistemas especialmente concebidos o preparados para la conversión de UO_2 en UF_4. . . . 54

41. *Sistemas especialmente concebidos o preparados para la conversión de UF_4 en UF_6 . . . 54

42. *Sistemas especialmente concebidos o preparados para la conversión de UF_4 en U metálico . . . 54

43. *Sistemas especialmente concebidos o preparados para la conversión de UF_6 en UO_2. . . . 54

44. *Sistemas especialmente concebidos o preparados para la conversión de UF_6 en UF_4 . . . 54

45. *Sistemas especialmente concebidos o preparados para la conversión de UO_2 en UCl_4 55
46. *Celdas electrolíticas para la producción de flúor 55
47. *Sistemas de conversión de nitrato de plutonio en óxido de plutonio 55
48. *Sistemas de producción de plutonio metálico 55
Reactores nucleares y su equipo 56
49. Reactores nucleares y su equipo 56
Plantas de fabricación de combustible nuclear 59
50. Plantas y equipo de fabricación de elementos combustibles 59
Tecnología de reelaboración y su equipo 60
51. *Plantas y equipo de reelaboración de elementos combustibles irradiados 60
Equipo industrial y máquinas herramientas 65
52. *Máquinas herramientas y unidades de control de las mismas 65
53. Máquinas de conformación por rotación y de conformación por estirado 74
54. Máquinas de inspección dimensional 75
55. Prensas isostáticas (en frío y en caliente) 77
56. *Equipos de fabricación y ensamblado de rotores 77
57. *Máquinas de balanceo de centrífugas 78
58. *Máquinas devanadoras de materiales fibrosos y filamentosos y equipo conexo 79
59. Máquinas de soldadura por haz de electrones 79
60. Sistemas de aspersión de plasma 79
61. Hornos de oxidación 79
62. *Hornos de alta temperatura 80
63. Equipo para ensayos a las vibraciones 80
Equipo de desarrollo de sistemas de implosión 81
64. *Equipo especializado para experimentos hidrodinámicos 81
65. Equipo de rayos X de destello 82
66. *Sistemas de cañones 83
67. *Cámaras mecánicas de espejo giratorio 83
68. *Cámaras de imagen unidimensional e imágenes múltiples y sus componentes 83
69. Computadoras digitales electrónicas 84
70. *Códigos de computadora para explosivos nucleares 84
71. Detonadores y sistemas de iniciación de puntos múltiples 84
72. *Lentes explosivas 85

73. *Conjuntos de detonación y generadores de impulsos de intensidad elevada . . . 85
74. Dispositivos de conmutación . . . 86
75. Condensadores de descarga por impulsos . . . 86
76. Explosivos detonantes . . . 87
Otros equipos . . . 87
77. *Crisoles . . . 87
78. Sistemas generadores de neutrones . . . 88
79. Equipo para la generación de retardos de tiempo o la medición de intervalos de tiempo . . . 88
80. Osciloscopios . . . 88
81. Generadores de impulsos de gran velocidad . . . 89
82. Amplificadores de impulsos . . . 89
83. Tubos fotomultiplicadores . . . 90
84. Transformadores de frecuencia . . . 90
85. Válvulas obturadas por fuelle . . . 90
86. Compresores en espiral y bombas de vacío . . . 90
87. Aceleradores de iones . . . 90

Apéndices

1. Principios generales . . . 92
2. Controles de tecnología y programas lógicos . . . 93
3. Lista de actividades nucleares permitidas con arreglo a la resolución 707 del Consejo de Seguridad . . . 94
4. Definiciones . . . 95
5. Sistema internacional de unidades y abreviaturas . . . 99

Índice analítico . . . 100

Disposiciones generales

Introducción

En el párrafo 12 de la resolución 687 (1991), el Consejo de Seguridad decidió, entre otras cosas, que el Iraq deberá acceder incondicionalmente a no adquirir ni desarrollar armas nucleares ni material que pueda utilizarse para armas nucleares, ni subsistemas, componentes o instalaciones de investigación, desarrollo, apoyo o fabricación relacionados con esos elementos; declarar al Organismo Internacional de Energía Atómica el lugar de emplazamiento, la cantidad y el tipo de todos los elementos mencionados, y aceptar la destrucción, remoción o neutralización de todos ellos. En el párrafo 13 de dicha resolución, el Consejo de Seguridad pidió también al OIEA que elaborara un plan para la vigilancia y verificación permanentes en el futuro del cumplimiento por el Iraq de lo dispuesto en el párrafo 12. Una restricción adicional, especificada en el inciso f) del párrafo 3 de la resolución 707 (1991), prohíbe actualmente al Iraq todas las actividades nucleares, cualesquiera que sean, excepto para el uso de isótopos con fines médicos o sus aplicaciones en la agricultura o la industria.

El "Plan del Organismo Internacional de Energía Atómica para la vigilancia y verificación permanentes (VVP) del cumplimiento por el Iraq con el párrafo 12 de la parte C de la resolución 687 (1991) del Consejo de Seguridad y los requisitos de los párrafos 3 y 5 de la resolución 707 (1991)" (en adelante, "plan VVP") fue aprobado por el Consejo de Seguridad en su resolución 715 (1991). En el anexo 3 del plan VVP del OIEA[1] figura una lista de elementos nucleares y otros elementos conexos que el Iraq tiene prohibidos o que están sujetos a ciertos controles (entre ellos, los informes que el Iraq y cualquier Estado que exporte dichos elementos al Iraq debe presentar al OIEA)[2].

En la resolución 715 (1991), el Consejo de Seguridad pidió también al Comité establecido en virtud de la resolución 661 (1990) (designado en adelante como Comité de sanciones), al OIEA y a la Comisión Especial de las Naciones Unidas que elaboraran "un mecanismo para vigilar toda venta o suministro en el futuro por otros países al Iraq de artículos relacionados con la aplicación de la sección C de la resolución 687 (1991) y con otras resoluciones pertinentes". Las disposiciones para el mecanismo de vigilancia de las exportaciones e importaciones elaborado por el Comité de sanciones, la Comisión Especial y el OIEA se presentaron al Consejo de Seguridad en el documento S/1995/1017 (7 de diciembre de 1995). Entre ellas figuraba el establecimiento de una dependencia común a la que deben comunicarse las correspondientes exportaciones hechas al Iraq y las importaciones efectuadas por este país. Dicho mecanismo (designado en adelante como mecanismo de exportaciones/importaciones fue aprobado por el Consejo de Seguridad en su resolución 1051 (1996).

---

[1] El plan VVP, incluido su anexo 3, se publicó originalmente como documento S/22872/Rev.1 y Corr.1 (20 de septiembre de 1991 y 10 de octubre de 1991, respectivamente), y fue aprobado por el Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas el 11 de octubre de 1991 en la resolución 715 (1991). Una primera actualización de la resolución se publicó bajo la signatura S/24300 (16 de julio de 1992). El anexo 3 fue ulteriormente objeto de varias revisiones y reeditado sucesivamente con las signaturas S/1995/215 (23 de marzo de 1995), S/1995/215/Corr.1 (7 de abril de 1995) y S/1995/215/Corr.2 (2 de agosto de 1995).

[2] Véanse, por ejemplo, los párrafos 22 c), 25, 26, 30 a) y 30 b) del plan VVP.

De conformidad con lo dispuesto en el mecanismo de exportaciones/importaciones, el anexo 3 del plan VVP del OIEA (en adelante, anexo 3) hace las veces de lista de los elementos nucleares y conexos que, con arreglo al mecanismo, están sujetos a información a la dependencia común por el Iraq y por cualquier Estado que exporte dichos elementos al Iraq. Los elementos relacionados con los aspectos químico, biológico y balístico de las resoluciones pertinentes del Consejo de Seguridad figuran en los anexos II, III y IV a los planes de vigilancia y verificación permanentes de la Comisión Especial[3].

En la resolución 1284 (1999), el Consejo de Seguridad pidió a la UNMOVIC (que sustituyó a la Comisión Especial)[4] y al OIEA que reanudaran la revisión y actualización de las listas de artículos y tecnología a los que se aplica el mecanismo de exportaciones/importaciones. En el párrafo 19 de la resolución 1330 (2000), el Consejo de Seguridad fijó el 5 de junio de 2001 como fecha límite para la conclusión de dicha revisión. El presente documento recoge los resultados de la revisión y actualización del anexo 3 en lo referente a los artículos y la tecnología nucleares y conexos.

Objetivo

En el anexo 3 del plan VVP del OIEA se enumera el material, equipo y tecnología nucleares y los materiales, equipo, software y tecnología correspondiente conexos con los anteriores que están sujetos al plan VVP y al mecanismo de exportaciones/importaciones. Está concebido para ayudar a todas las organizaciones, organismos y personal responsables de asegurar el cumplimiento con el plan VVP y/o el mecanismo de exportaciones/importaciones. Entre éstos figuran los exportadores, los funcionarios de aduanas y otros funcionarios de los Estados exportadores y del Iraq, el personal de la dependencia común responsable del mecanismo de exportaciones/importaciones y el personal del OIEA y de la UNMOVIC en la Sede y sobre el terreno.

Además de ciertos materiales nucleares, en el anexo 3 figuran también aquellos que se consideran “especialmente concebidos o preparados para la elaboración, uso o producción de materiales fisionables especiales”[5] (es decir, artículos para su uso exclusivo en actividades nucleares, militares o civiles). Dichos artículos se llaman, para simplificar, “de uso único”. Además, en el anexo 3 se enumeran los artículos considerados “de doble uso”[6] (es decir, aquellos artículos que pueden tener tanto aplicaciones nucleares como no nucleares).

---

[3] Véase el documento S/22871/Rev.1 de las Naciones Unidas, de fecha 2 de octubre de 1991.

[4] En virtud de la resolución 1284 (1999), el Consejo de Seguridad estableció, como órgano subsidiario del Consejo, la Comisión de las Naciones Unidas de Vigilancia, Verificación e Inspección (UNMOVIC), en reemplazo de la Comisión Especial establecida en virtud de la resolución 687 (1991). La UNMOVIC ha de asumir las funciones que había asignado el Consejo a la Comisión Especial en virtud de la resolución 687 (1991) y otras resoluciones pertinentes del Consejo de Seguridad.

[5] Véase el documento del OIEA INFCIRC/254/Rev.4/Part 1, de fecha 15 de marzo de 2000.

[6] Véase el documento del OIEA INFCIRC/254/Rev.4/Part 2, de fecha 9 de marzo de 2000.

Prohibiciones y restricciones

Artículos prohibidos de conformidad con la resolución 687

Aquellos artículos que el Iraq tiene prohibidos de conformidad con la resolución 687 (1991), es decir, los relacionados con el desarrollo o utilización de armas, se indican en el anexo 3 mediante un asterisco. El Iraq está obligado a declarar al OIEA la existencia de dichos artículos en su territorio, de manera que el OIEA pueda disponer su destrucción, remoción o neutralización.

El Iraq tiene asimismo prohibido adquirir dichos artículos; así, pues, está prohibida la transferencia al Iraq de cualquier artículo marcado con fondo sombreado y un asterisco (incluso la tecnología directamente relacionada o necesaria para el desarrollo, producción o uso de dicho artículo). Conviene señalar que algunos de los artículos indicados como prohibidos con arreglo a la resolución 687 (1991) son artículos de doble uso.

Artículos prohibidos de conformidad con la resolución 707

Tal como se indica más arriba, el inciso f) del párrafo 3 de la resolución 707 (1991) exige que el Iraq "interrumpa todas las actividades nucleares, cualesquiera que sean, excepto para el uso de isótopos con fines médicos o sus aplicaciones en la agricultura o la industria, hasta que el Consejo determine que el Iraq cumple cabalmente con la resolución y con los párrafos 12 y 13 de la resolución 687 (1991), y el Organismo Internacional de Energía Atómica determine que el Iraq cumple cabalmente con el acuerdo sobre salvaguardias concertado con ese Organismo". Por consiguiente, además de los artículos prohibidos de conformidad con la resolución 687 (1991), el anexo 3 comprende artículos que se utilizan en actividades nucleares pacíficas, incluso de investigación y desarrollo, que, aunque no están prohibidos por la resolución 687 (1991), sí lo están con arreglo a las restricciones adicionales impuestas por la resolución 707 (1991). Además, en el párrafo 27 del plan VVP del OIEA, aprobado en virtud de la resolución 715 (1991) se estipula que, en el momento en que el Consejo de Seguridad determine que el Iraq puede reanudar las actividades nucleares no prohibidas de conformidad con la resolución 687 (1991), "el Iraq deberá presentar un pedido al Consejo de Seguridad indicando exactamente la actividad, el establecimiento, instalación o lugar donde se llevará a cabo, y el material u otros elementos que se utilizarán".

Transferencias de artículos no prohibidos para fines no prohibidos

La transferencia al Iraq de artículos no prohibidos para fines no prohibidos está sujeta a la aprobación del OIEA de conformidad con el plan VVP y es preceptivo informar de ella con arreglo al mecanismo de exportaciones/importaciones. La lista de aplicaciones de isótopos no prohibidas figura en el anexo 4 del plan VVP y para mayor comodidad se reproduce como apéndice 3 del presente documento.

Además, y de conformidad con los párrafos 3 y 4 de la resolución 661 (1990) y los párrafos 3 y 11 de la resolución 670 (1990), la transferencia de cualesquiera artículos como los mencionados está regulada por el Comité de sanciones establecido en virtud de la resolución 660 (1990). La resolución 661 prohíbe, entre otras cosas, la venta o el suministro al Iraq de cualesquiera bienes o productos, pero excluidos "los suministros destinados estrictamente a fines médicos y, en circunstancias humanitarias, los alimentos, a cualquier persona o entidad en el Iraq". La resolución

670 (1990) exhorta a todos los Estados “a que cumplan su obligación de velar por la observancia estricta y cabal de la resolución 661 (1990) y, en particular, de sus párrafos 3, 4 y 5”.

Definiciones

En el anexo 3 se emplean muchos términos con significados técnicos precisos. Las definiciones de dichos términos figuran en los lugares oportunos del texto del anexo 3 y en el apéndice 4 al presente documento.

Abreviaturas y unidades de medida

En el anexo 3 se utiliza el Sistema Internacional de Unidades (SI). Las abreviaturas de dichas unidades utilizadas en el anexo 3 figuran en el apéndice 5 al presente documento.

Lista de elementos que deben comunicarse al OIEA

*Los artículos marcados con * y fondo sombreado le están prohibidos al Iraq de conformidad con la resolución 687.*

Materiales nucleares

Nota:

Véase el apéndice 4 para las definiciones de los materiales nucleares.

1. *Materiales nucleares

1.1 Uranio y torio

Uranio constituido por la mezcla de isótopos que contiene en su estado natural; uranio en que la proporción de isótopo 235 es inferior a la normal; torio; cualquiera de los elementos citados en forma de metal, aleación, compuesto químico o concentrado, y cualesquiera otros materiales que contengan uno o más de los elementos citados.

1.2 Uranio poco enriquecido (UPE) o plutonio

Uranio enriquecido a menos de un 20% de los isótopos 233, 235 o ambos; plutonio con una concentración isotópica de Pu-238 superior al 80%; cualquiera de los elementos citados en forma de metal, aleación, compuesto químico o concentrado, y cualesquiera otros materiales que contengan uno o más de los elementos citados, salvo el combustible nuclear irradiado (*véase el párrafo 1.4*).

1.3 *Uranio muy enriquecido (UME) o plutonio

Uranio enriquecido a un 20% o más en los isótopos 233, 235 o ambos; plutonio que contenga menos del 80% del isótopo 238; cualquiera de los elementos citados en forma de metal, aleación, compuesto químico o concentrado, y cualesquiera otros materiales que contengan uno o más de los elementos citados, salvo el combustible nuclear irradiado (*véase el párrafo 1.4*).

Nota:

Los elementos siguientes no están prohibidos pero están sujetos a supervisión:

i) Cantidades inferiores a 1 gramo de los materiales fisionables especiales especificados en el párrafo 1.3 supra en forma de:

a) Material certificado de referencia;

b) Fuente para calibración de instrumentos; o

c) Componente sensor de instrumentos.

1.4 *Combustible nuclear irradiado

Nota explicativa:

La prohibición sólo es válida para la transferencia de combustible nuclear irradiado al Iraq.

1.5 *Neptunio-237

Neptunio enriquecido a un 20% o más en el isótopo 237 en forma de metal, aleación, compuesto químico o concentrado, y cualesquiera otros materiales que contengan uno o más de los elementos citados.

Materiales no nucleares

Nota 1:

Véase el párrafo 49.11 para el deuterio y el agua pesada.

Nota 2:

Véase el párrafo 49.12 para el grafito de pureza nuclear.

2. Aleaciones de aluminio

Aleaciones de aluminio que posean las dos características siguientes:

a) "Capaces de" soportar una carga de ruptura por tracción de 460 MPa o más a 293 K (20°C);

b) En forma de tubos o piezas sólidas (incluidas las piezas forjadas) con un diámetro exterior superior a 75 mm.

Nota técnica:

En el apartado 2 a), la expresión "capaces de" incluye las aleaciones de aluminio antes o después del tratamiento térmico.

3. Berilio

Berilio metálico, aleaciones que contengan más del 50% de berilio en peso, compuestos de berilio, productos manufacturados a partir de éstos y desperdicios y chatarra que contengan berilio en la forma descrita.

Nota:

El párrafo 3 no incluye:

i) Ventanillas metálicas para máquinas de rayos X o para mecanismos de registro de sondeos;

ii) Piezas de óxido en forma fabricada o semifabricada, especialmente concebidas como piezas para componentes electrónicos o como sustrato para circuitos electrónicos;

iii) Berilo (silicato de berilio y aluminio) en forma de esmeralda o aguamarina.

4. Bismuto

Bismuto que posea las *dos* características siguientes:

a) Una pureza del 99,99% o superior en peso;

b) Con un contenido de plata inferior a 10 partes por millón.

5. Boro

Boro enriquecido en el isótopo 10 (^{10}B) por encima de su riqueza isotópica natural, en las formas siguientes: boro elemento, compuestos de boro, mezclas que contengan boro, productos elaborados con boro y desperdicios y chatarra que contengan boro en la forma descrita.

Nota:

En el párrafo 5, las mezclas que contengan boro incluyen los materiales drogados con boro.

Nota técnica:

La abundancia en la naturaleza del isótopo boro-10 representa aproximadamente el 18,5% en peso (20 átomos de cada 100).

6. Calcio

Calcio que posea las *dos* características siguientes:

a) Que contenga menos de 2.000 partes por millón en peso de impurezas metálicas distintas del magnesio;

b) Con un contenido de boro inferior a 20 partes por millón en peso.

7. Trifluoruro de cloro

8. "Materiales fibrosos o filamentosos" y productos preimpregnados

Nota:

Los párrafos 8.1 a 8.3 hacen referencia a materiales en bruto. El párrafo 8.4 hace referencia a productos acabados.

8.1 "Materiales fibrosos o filamentosos" de carbono o de aramida que posean una de las dos características siguientes:

a) Un "módulo específico" de 12,7 x 10^6 m o superior;

b) Una "resistencia específica a la tracción" de 23,5 x 10^4 m o superior.

Nota:

El párrafo 8.1 no incluye los "materiales fibrosos o filamentosos" de aramida que contengan una proporción igual o superior al 0,25% en peso de un modificador superficial de fibras a base de ésteres.

8.2 "Materiales fibrosos o filamentosos" de vidrio que posean las dos características siguientes:

a) Un "módulo específico" de 3,18 x 10^6 m o superior;

b) Una "resistencia específica a la tracción" de 7,62 x 10^4 m o superior;

8.3 “Hilados”, “mechas”, “estopas” o “cintas” continuos impregnados de resina termoendurecida, de anchura igual o inferior a 15 mm (productos preimpregnados), hechos con los ‘materiales fibrosos o filamentosos’ de carbono o de vidrio descritos en los apartados 8.1 y 8.2

Nota técnica:

La resina forma la matriz del material mixto.

8.4 *Estructuras de materiales mixtos in forma de tubos que posean las dos características siguientes:

a) Un diámetro interior comprendido entre los 75 y los 400 mm;

b) Fabricadas de cualesquiera de los materiales descritos en los párrafos 8.1, 8.2 y 8.3.

Nota técnica:

La expresión “materiales fibrosos o filamentosos” comprende monofilamentos, hilados, fibras, haces filamentosos y cintas.

“Filamento” o “monofilamento” es la fibra de menor grosor posible, generalmente de varios μm de diámetro.

“Mecha” es un haz de hebras (generalmente, entre 12 y 120) más o menos paralelas.

“Hebra” es un haz de filamentos (generalmente, unos 200) más o menos paralelos.

“Cinta” es un material fabricado con filamentos, hebras, mechas, estopas, hilados, etc., entrelazados o unidireccionales, generalmente preimpregnado de resina.

“Estopa” es un haz de filamentos, por lo general, más o menos paralelos.

“Hilado” es un haz de hebras trenzadas.

El “módulo específico” es el módulo de Young en N/m^2 dividido por el peso específico en N/m^3, medido a una temperatura de 23 ± 2 °C y una humedad relativa de 50 ± 5%.

La “resistencia específica a la tracción” es la carga de ruptura por tracción en N/m^2 dividida por el peso específico en N/m^3, medida a una temperatura de 23 ± 2 °C y una humedad relativa de 50 ± 5%.

9. Hafnio

Hafnio metálico, aleaciones y compuestos de hafnio que contengan más del 60% de hafnio en peso, productos manufacturados a partir de éstos y desperdicios y chatarra que contengan hafnio en cualquiera de las formas descritas.

10. *Litio

Litio enriquecido en el isótopo litio-6 (^{6}Li) por encima de su riqueza isotópica natural y productos o dispositivos que contengan litio enriquecido, en las formas siguientes: litio, aleaciones, compuestos, mezclas que contengan litio, productos manufacturados a partir de éstos y desperdicios y chatarra que contengan litio en cualquiera de las formas descritas.

Nota:

El párrafo 10 no incluye los dosímetros termoluminiscentes.

Nota técnica:

La riqueza isotópica natural del litio-6 es aproximadamente de 6,5% en peso (7,5% como porcentaje del número de átomos).

11. Magnesio

Magnesio que posea las dos características siguientes:

a) Contener menos de 2.000 ppm en peso de impurezas metálicas distintas del calcio;

b) Contener menos de 20 ppm en peso de boro.

12. *Acero al níquel con bajo contenido de carbono

Acero al níquel con bajo contenido de carbono "capaz de" soportar una carga de ruptura por tracción de 2.050 MPa (2.050 x 10^9 N/m^2) o más a 293 K (20°C).

Nota técnica:

En el párrafo 12, la expresión "capaz de" incluye el acero al níquel con bajo contenido de carbono antes o después del tratamiento térmico.

Nota:

El párrafo 12 no incluye piezas en que ninguna de las dimensiones lineales sea superior a 75 mm.

13. Radio-226 (^{226}Ra)

Radio-226 (^{226}Ra), aleaciones y compuestos de radio-226, mezclas que contengan radio-226, productos manufacturados a partir de éstos y productos o dispositivos que contengan cualquiera de las formas descritas.

Nota 1:

Véase el párrafo 20 para los radioisótopos emisores de radiaciones alfa.

Nota 2:

El párrafo 13 no incluye los elementos siguientes:

i) Cápsulas médicas;

ii) Productos o dispositivos que contengan menos de 0,37 GBq de radio-226.

14. Titanio

Aleaciones de titanio capaces de poseer *las dos* características siguientes:

a) Soportar una carga de ruptura por tracción de 900 MPa o más a 293 K (20 °C);

b) En forma de tubos o piezas macizas cilíndricas (incluidas las piezas forjadas) con un diámetro exterior superior a 75 mm.

Nota técnica:

En el párrafo 14, la expresión "capaz de" incluye las aleaciones de titanio antes o después del tratamiento térmico.

15. Tungsteno

Tungsteno, carburo de tungsteno y aleaciones con más del 90% de tungsteno en peso, que posean las dos características siguientes:

a) En formas con simetría cilíndrica hueca (incluidos segmentos de cilindros) con un diámetro interior superior a 100 mm pero inferior a 300 mm;

b) Cuya masa sea superior a 20 kg.

16. Circonio

Circonio con un contenido de hafnio inferior a 1 parte de hafnio por 500 partes de circonio en peso, en las formas siguientes: metal, aleaciones que contengan más de un 50% de circonio en peso, compuestos, productos manufacturados a partir de éstos y desperdicios y chatarra que contengan circonio en cualquiera de las formas descritas.

Nota 1:

El párrafo 16 no incluye el circonio en forma de láminas de espesor no superior a 0,10 mm.

Nota 2:

Véase el párrafo 49.6 para controles adicionales del circonio.

17. Níquel

Polvo de níquel y níquel metálico poroso, en las formas siguientes:

17.1 Polvo de níquel que posea las dos características siguientes:

a) Una pureza en contenido de níquel del 99,0% o superior en peso;

b) Un tamaño medio de las partículas inferior a 10 micrómetros (μm) medidos con arreglo a la norma ASTM B 330.

17.2 Níquel metálico poroso obtenido a partir de los materiales descritos en el párrafo 17.1

Nota 1:

Para los polvos de níquel, especialmente preparados para la fabricación de barreras contra la difusión de gases, véase el párrafo 24.1.

Nota 2:

El párrafo 17 no incluye:

Polvos filamentosos de níquel;

Láminas sueltas de níquel metálico poroso de una superficie igual o inferior a 1.000 cm^2 por lámina.

Nota técnica:

El párrafo 17.2 hace referencia a metal poroso formado mediante el compactado y sinterizado del material descrito en el párrafo 17.1 a fin de formar un material metálico con poros muy finos interconectados a través de la estructura.

18. *Tritio

Tritio, incluidos compuestos y mezclas, que contengan tritio en que la razón del número de átomos de tritio al de átomos de hidrógeno sea superior a una parte entre 1.000, y productos y dispositivos que contengan cualquiera de los elementos descritos.

Nota 1:

Los elementos siguientes que no están prohibidos pero están sujetos a supervisión:

Tritio en dispositivos luminiscentes (por ejemplo, dispositivos de seguridad instalados en aviones, relojes, luces de pistas de aterrizaje que contengan menos de 40 Ci (4 mg) de tritio en cualquier forma química o física. La cantidad total de tritio importado con arreglo a esta excepción durante cualquier período de 12 meses no debe exceder de 2.000 Ci (0,2 g).

Nota 2:

Los compuestos orgánicos marcados con tritio no están prohibidos ni sujetos a supervisión.

Nota 3:

Véase también el párrafo 36.

19. *Helio-3

Helio-3 (^{3}He), mezclas que contengan helio-3 y productos o dispositivos que contengan cualesquiera de los elementos descritos.

Nota:

El párrafo 19 no prohíbe productos o dispositivos que contengan menos de 1 g de helio-3.

20. Fuentes de radiación alfa

Radionucleidos que emitan partículas alfa de una semivida igual o superior a 10 días pero inferior a 200 años, en las formas siguientes:

a) Estado elemental;

b) Compuestos que posean una actividad alfa específica igual o superior a 37 Gbq por kilogramo;

c) Mezclas que posean una actividad alfa específica igual o superior a 37 Gbq por kilogramo;

d) Productos o dispositivos que contengan cualesquiera de dichos radionucleidos.

Nota 1:

El párrafo 20 no incluye productos o dispositivos que contengan menos de 3,7 Gbq de actividad alfa.

Nota 2:

Véase el párrafo 13 para el Ra^{226}.

Nota 3:

El párrafo 20 a) incluye, pero no exclusivamente, los siguientes elementos:

		Semivida	
Número atómico	*Elemento*	*Años*	*Días*
147	Europio		24
148	Europio		54,5
148	Gadolinio	75	
151	Gadolinio		120
188	Platino		10,2
208	Polonio	2,898	
209	Polonio	1,02	
210(RaD)	Plomo	22,3	
210(RaF)	Polonio		138,376
223(AcX)	Radio		11,43
225	Actinio		10,00
227(Ac)	Actinio	21,77	
227(RaAc)	Torio		18,718
228(RaTh)	Torio	1,913	
230	Protoactinio		17,4
230	Uranio		20,8
232	Uranio	68,9	
235	Neptunio	1,085	
236	Plutonio	2,851	
237	Plutonio		45,17
238	Plutonio	87,74	

		Semivida	
Número atómico	*Elemento*	*Años*	*Días*
240	Curio		27
241	Curio		32,8
241	Neptunio	14,4	
242m	Americio	141	
242	Curio		162,94
243	Curio	28,5	
244	Curio	18,11	
248	Californio		334
250	Californio	13,08	
252	Californio	2,645	
252	Einsteinio	1,291	
253	Einsteinio		20,4
254	Californio		60,5
254	Einsteinio		275,7
255	Einsteinio		38,8
257	Fermio		100,5
258	Mendelevio		55

Nota 4:

El contenido de americio en equipos industriales y petrolíferos no deberá exceder de 20 Ci (6,16 g) por dispositivo.

Nota 5:

La cantidad total de americio importado durante cualquier período de 12 meses no deberá exceder de 200 Ci (61,6 g).

Nota 6:

El párrafo 20 no se aplica al americio utilizado en detectores de humo.

21. Tántalo

Láminas de tántalo con un espesor de 2,5 mm o superior, de las cuales se pueda obtener un círculo de 200 mm de diámetro.

*Plantas de separación de isótopos de uranio y equipo, excepto instrumentos de análisis, especialmente concebidos o preparados para esta actividad

Los artículos y equipo que se consideran incluidos en la expresión “equipo, excepto instrumentos de análisis, especialmente concebidos o preparados” para la separación de isótopos de uranio comprenden:

22. *Centrífugas de gas y conjuntos y componentes especialmente concebidos o preparados para su utilización en centrífugas de gas

Nota introductoria:

La centrífuga de gas consiste normalmente en uno o más cilindros de paredes delgadas, de un diámetro de 75 mm a 400 mm, contenidos en un vacío y sometidos a un movimiento rotatorio que produce elevada velocidad periférica del orden de 300 m/s o más; el eje central del cilindro es vertical. A fin de conseguir una elevada velocidad de rotación, los materiales de construcción de los componentes rotatorios deben poseer una elevada razón resistencia/densidad, y el conjunto rotor, y por consiguiente sus componentes, deben fabricarse con tolerancias muy ajustadas con objeto de reducir al mínimo el descentrado. A diferencia de otras centrífugas, la centrífuga de gas utilizada para el enriquecimiento de uranio se caracteriza por tener dentro de la cámara rotatoria uno o varios diafragmas rotatorios en forma de disco, un conjunto de tubos estacionarios para introducir y extraer el UF_6 gaseoso, y al menos tres canales separados, dos de los cuales están conectados a paletas que se extienden desde el eje del rotor hasta la periferia de la cámara rotatoria. También se encuentran contenidos en la cámara de vacío diversos elementos importantes no rotatorios los que, aunque de concepción especial, no son difíciles de moldear ni se fabrican a partir de materiales muy especiales. Sin embargo, en una instalación de centrífugas se necesita un gran número de dichos componentes, de modo que las cantidades pueden constituir una importante indicación del uso a que se destinan.

22.1 *Componentes rotatorios

a) Conjuntos rotores completos:

Cilindros de paredes delgadas, o varios de dichos cilindros conectados entre sí, fabricados de uno o más de los materiales de elevada razón resistencia/densidad descritos en la *nota explicativa* de la presente sección. Cuando se hallan interconectados, los cilindros están unidos por fuelles flexibles o anillos como se describe en la sección c) *infra*. El rotor está provisto de uno o varios diafragmas internos y tapones en el extremo, como se describe en las secciones d) y e) *infra*, en la forma final. Sin embargo, es posible que el conjunto completo se entregue sólo parcialmente montado;

b) Tubos rotores:

Cilindros de paredes delgadas especialmente concebidos o preparados, con un espesor de 12 mm o menos, un diámetro de 75 mm a 400 mm, fabricados de uno o más de los materiales de elevada razón resistencia/densidad descritos en la *nota explicativa* de la presente sección;

c) Anillos o fuelles:

Componentes especialmente concebidos o preparados para reforzar localmente el tubo rotor o unir varios tubos rotores. El fuelle es un cilindro corto de espesor de pared de 3 mm o menos, un diámetro de 75 mm a 400 mm, de estructura helicoidal, fabricado de uno o más de los materiales de

elevada razón resistencia/densidad descritos en la *nota explicativa* de la presente sección;

d) Diafragmas:

Componentes en forma de disco de 75 mm a 400 mm de diámetro, especialmente concebidos o preparados para montarlos dentro del tubo rotor de la centrífuga, a fin de aislar la cámara de admisión de la cámara principal de separación y, en algunos casos, de facilitar la circulación del UF_6 gaseoso dentro de la cámara principal de separación del tubo rotor; fabricados de uno o más de los materiales de elevada razón resistencia/densidad descritos en la *nota explicativa* de la presente sección;

e) Tapones superiores/tapones inferiores:

Componentes en forma de disco de 75 mm a 400 mm de diámetro, especialmente concebidos o preparados para ajustarlos a los extremos del tubo rotor y contener de este modo el UF_6, dentro de dicho tubo, y, en algunos casos, sostener, retener o contener como una parte integrante un elemento del cojinete superior (tapón superior) o sostener los elementos rotatorios del motor y el cojinete inferior (tapón inferior); fabricados de uno o más de los materiales de elevada razón resistencia/densidad descritos en la *nota explicativa* de la presente sección.

Nota explicativa:

Los materiales utilizados para los componentes rotatorios de centrífugas son:

i) Acero al níquel de bajo contenido de carbono capaz de soportar una carga de ruptura por tracción de 2,05 x 10^9 N/m^2 o superior;

ii) Aleaciones de aluminio capaces de soportar una carga de ruptura por tracción de 0,46 x 10^9 N/m^2 o superior;

iii) Materiales filamentosos apropiados para su uso en estructuras mixtas y que posean un módulo específico de 12,3 ·x 10^6 m o superior y una resistencia específica a la tracción de 0,3 x 10^6 m o superior (el "módulo específico" es el "módulo de Young" en N/m^2 dividido por el peso específico en N/m^3; la "resistencia específica a la tracción" es la resistencia a la tracción en N/m^2 dividida por el peso específico en N/m^3).

22.2 *Componentes estáticos

a) Cojinetes de suspensión magnética:

Conjuntos de suspensión especialmente concebidos o preparados, consistentes en un electroimán anular suspendido dentro de una carcasa que contiene un medio amortiguador. La carcasa se fabrica de un material resistente al UF_6 (véase la *nota explicativa* de la sección 22). El imán se acopla con una pieza polar o con un segundo imán montado en el tapón superior descrito en la sección 22.1 e). El imán puede tener forma anular, con una relación no superior 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-oersteds). Además

de las propiedades habituales de los materiales, es requisito indispensable que la desviación de los ejes magnéticos respecto de los geométricos no exceda de muy pequeñas tolerancias (menos de 0,1 mm) o que la homogeneidad del material del imán sea muy elevada;

b) Cojinetes/amortiguadores:

Cojinetes especialmente concebidos o preparados que comprenden un conjunto de pivote y copa montado en un amortiguador. El pivote suele ser una barra de acero templado con un extremo en forma de semiesfera y provisto en el otro extremo de un elemento de fijación en el tapón inferior descrito en la sección 22.1 e). Sin embargo, también puede estar dotado de un cojinete hidrodinámico. La copa tiene la forma de una pastilla con una muesca semiesférica en una de sus superficies. Esos componentes a menudo se suministran por separado del amortiguador;

c) Bombas moleculares:

Cilindros especialmente concebidos o preparados con surcos helicoidales mecanizados o extruidos internamente y paredes interiores mecanizadas. Las dimensiones normales son las siguientes: de 75 mm a 400 mm de diámetro interno, de 10 mm o más de espesor de pared, y de longitud igual o superior al diámetro. Los surcos por lo general tienen una sección rectangular y 2 mm o más de profundidad;

d) Estatores de motores:

Estatores de forma anular especialmente concebidos o preparados para motores multifásicos de alta velocidad de corriente alterna por histéresis (o reluctancia) que funcionan sincrónicamente en un vacío en la gama de frecuencias de 600 a 2.000 Hz y en el intervalo de potencias de 50 a 1.000 VA. Los estatores consisten en embobinados multifásicos sobre un núcleo de hierro laminado con escasas pérdidas compuesto de finas capas de un espesor que suele ser de 2,0 mm o menos;

e) Recipientes y carcasas de las centrífugas:

Componentes especialmente concebidos o preparados para alojar el conjunto de tubos rotores de una centrífuga de gas. La carcasa consiste en un cilindro rígido, siendo el espesor de pared de hasta 30 mm, con los extremos mecanizados con precisión para contener los cojinetes y con una o varias bridas para el montaje. Los extremos mecanizados son paralelos entre sí y perpendiculares al eje longitudinal del cilindro, salvo una tolerancia de 0,05 grados o menos. La carcasa puede ser también una estructura alveolar para contener varios tubos rotores. Las carcasas están fabricadas o revestidas de materiales resistentes a la corrosión por el UF_6;

f) Paletas:

Tubos especialmente construidos o preparados de hasta 12 mm de diámetro interno para la extracción del UF_6 gaseoso del tubo rotor por efecto de tubo Pitot (es decir, su apertura desemboca en el flujo de gas periférico situado dentro del tubo rotor, por ejemplo, doblando el extremo de un tubo colocado radialmente) y capaz de conectarse al sistema central de

extracción de gas. Los tubos están fabricados o revestidos de materiales resistentes a la corrosión por el UF_6.

23. *Sistemas, equipo y componentes auxiliares especialmente concebidos y preparados para plantas de enriquecimiento por centrifugación gaseosa

Nota introductoria:

Los sistemas, el equipo y los componentes auxiliares de una planta de enriquecimiento por centrifugación gaseosa son los necesarios para introducir el UF_6 en las centrífugas, conectar las centrífugas entre sí para que formen cascadas (o etapas) que conduzcan a valores progresivamente elevados de enriquecimiento y extraer el "producto" y los "relaves" del UF_6 de las centrífugas, junto con el equipo necesario para impeler las centrífugas y para el control de la maquinaria.

Normalmente el UF_6 se evapora a partir de su fase sólida con ayuda de autoclaves calientes y se distribuye en estado gaseoso entre las centrífugas por medio de un colector tubular en cascada. Las corrientes gaseosas de "producto" y "relaves" de UF_6 se introducen, igualmente mediante un colector tubular en cascada, en trampas frías (que funcionan a unos 203 K (-70°C)), donde se condensan antes de transferirlas a recipientes apropiados para su transporte o almacenamiento. Puesto que una planta de enriquecimiento consiste en muchos miles de centrífugas conectadas en cascada, hay también muchos kilómetros de colectores de tubería que incorporan miles de soldaduras y una considerable repetición de montajes. El equipo, los componentes y los sistemas de tuberías deben fabricarse observando normas muy rigurosas de vacío y limpieza.

23.1 *Sistemas de alimentación/sistemas de extracción del "producto" y los "relaves"

Sistemas especialmente concebidos o preparados, en particular:

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

b) Condensadores (o trampas frías) utilizados para extraer el UF_6 de las cascadas a una presión de hasta 3 kPa de presión. Los condensadores pueden enfriarse hasta 203 K (-70°C) y calentarse hasta 343 K (70°C);

c) Estaciones para el "producto" y los "relaves", utilizadas para recoger el UF_6 en recipientes.

La planta, el equipo y las tuberías están totalmente fabricados o revestidos de materiales resistentes al UF_6 (véase la *nota explicativa* al final de la presente sección) y deben fabricarse observando normas muy rigurosas de vacío y limpieza.

23.2 *Sistemas de tuberías y colectores de las máquinas

Sistemas de tuberías y colectores especialmente concebidos y preparados para manipular el UF_6 dentro de las centrífugas en cascada.

Esta red de tuberías suele ser del tipo de colector "triple" y cada centrífuga está conectada a cada uno de los colectores. Por consiguiente, su configuración se repite considerablemente. Están fabricados por completo de materiales resistentes al UF_6 (véase la *nota explicativa* al final de la presente sección) y deben fabricarse observando normas muy rigurosas de vacío y limpieza.

23.3 *Espectrómetros de masa para UF_6/fuentes de iones

Espectrómetros de masa magnéticos o cuadripolares especialmente concebidos o preparados, capaces de recoger muestras "en línea" de la alimentación, el "producto" o los "relaves" de las corrientes de UF_6 gaseoso, y que posean todas las características siguientes:

a) Resolución unitaria para la unidad de masa atómica superior a 320;

b) Fuentes de iones fabricadas o revestidas de cromoníquel o metal monel o galvanoniqueladas;

c) Fuentes de ionización por bombardeo electrónico;

d) Un sistema colector apropiado para el análisis isotópico.

23.4 *Transformadores de frecuencia

Transformadores de frecuencia (denominados también convertidores o inversores) especialmente concebidos o preparados para suministrar energía a los estatores de motores descritos en la sección 22.2 d), o piezas, componentes y subconjuntos de dichos transformadores de frecuencia que posean todas las características siguientes:

a) Salida multifásica de 600 a 2.000 Hz;

b) Elevada estabilidad (con control de frecuencia superior al 0,1%);

c) Distorsión armónica total inferior al 2%.

Nota:

Véase también el párrafo 84.

Nota explicativa:

Los elementos enumerados en la sección 23 se encuentran en contacto directo con el UF_6 gaseoso del proceso o controlan directamente las centrífugas y el paso del gas de una u otra y de una cascada a otra.

Entre los materiales resistentes a la corrosión por el UF_6 se cuentan el acero inoxidable, el aluminio, aleaciones de aluminio, el níquel y aleaciones que contengan un 60% o más de níquel.

24. *Conjuntos y componentes especialmente concebidos o preparados para su uso en el enriquecimiento por difusión gaseosa

Nota introductoria:

En el método de difusión gaseosa para la separación de 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 se ha calentado debido al proceso de compresión), válvulas de estanqueidad y de control, y tuberías. Puesto que en la tecnología de difusión gaseosa se utiliza

hexafluoruro de uranio (UF_6), todo el equipo, las tuberías y las superficies de instrumentos (que entran en contacto con el gas) deben fabricarse de materiales que permanezcan estables al contacto con el UF_6. Una instalación de difusión gaseosa requiere un gran número de dichos componentes, de modo que las cantidades pueden constituir una importante indicación del uso a que se destina.

24.1 *Barreras de difusión gaseosa

a) Filtros delgados y porosos especialmente concebidos o preparados, cuyos poros tengan un diámetro del orden de 100 a 1.000 Å (ångstroms), un espesor igual o inferior a 5 mm y, en el caso de los de forma tubular, un diámetro igual o inferior a 25 mm, fabricados de metales, polímeros o materiales cerámicos resistentes a la corrosión por el UF_6;

b) Compuestos o polvos especialmente preparados para la fabricación de dichos filtros. Entre dichos compuestos y polvos se cuentan el níquel o sus aleaciones que contengan un 60% o más de níquel, el óxido de aluminio o polímeros de hidrocarburos totalmente fluorados resistentes al UF_6, cuya pureza sea del 99,9% o más, 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.

24.2 *Carcasas para difusores

Recipientes cilíndricos especialmente concebidos o preparados, herméticamente sellados, de diámetro superior a 300 mm y longitud superior a 900 mm, o recipientes rectangulares de dimensiones comparables, dotados de una conexión de entrada y dos conexiones de salida, todas éstas con diámetro superior a 50 mm, para contener la barrera de difusión gaseosa, fabricados o revestidos de materiales resistentes al UF_6 y concebidos para instalarse en posición horizontal o vertical.

24.3 *Compresores e impulsores de gas

Compresores axiales, centrífugos o de desplazamiento positivo, o impulsores de gas especialmente concebidos o preparados, con capacidad de aspiración volumétrica de 1 m^3/min o más de UF_6, y con presión de descarga de hasta varios centenares de kPa concebidos para funcionar durante largo tiempo en contacto con el UF_6, con un motor eléctrico de potencia apropiada o sin él, así como conjuntos autónomos de compresión o impulsión de gas. Estos compresores e impulsores de gas presentan una relación de compresión comprendida entre 2:1 y 6:1 y están fabricados o revestidos de materiales resistentes al UF_6.

24.4 *Obturadores para ejes de rotación

Obturadores de vacío especialmente concebidos 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 impulsores de gas con los motores de propulsión, a fin de asegurarse de que el sistema disponga de un sellado fiable a fin de evitar la penetración de aire en la cámara interior del compresor o del impulsor de gas llena de UF_6. Normalmente dichos obturadores están concebidos para una tasa de penetración de gas separador inferior a 1.000 cm^3/min (60 $pulg^3$/min).

24.5 *Intercambiadores de calor para enfriar el UF_6

Intercambiadores de calor especialmente concebidos o preparados, fabricados o revestidos de materiales resistentes al UF_6 (excepto acero inoxidable) o de cobre o cualquier combinación de dichos metales, y concebidos para una tasa de variación de presión por pérdida inferior a 10 Pa por hora para una diferencia de presión de 100 kPa.

24.6 *Membranas porosas

Membranas porosas, distintas de las descritas en el párrafo 24.1, que posean *las dos* características siguientes:

a) Poros de un diámetro medio comprendido entre 1 nm y 100 nm;

b) Superficies que entren en contacto con los fluidos del proceso de cualesquiera de los materiales siguientes: aluminio, aleación de aluminio, óxido de aluminio, níquel, aleación de níquel, acero inoxidable o polímeros de hidrocarburos totalmente fluorados.

Nota:

El presente rubro no prohíbe las membranas porosas que sean partes componentes de dispositivos o productos acabados especialmente concebidos para la depuración de aguas o para usos médicos y que se suministren como parte de dichos dispositivos o productos acabados.

25. *Sistemas, equipo o componentes auxiliares especialmente concebidos o preparados para su utilización en procesos de enriquecimiento por difusión gaseosa

Nota introductoria:

Los sistemas, equipos y componentes auxiliares de plantas de enriquecimiento por difusión gaseosa son los sistemas necesarios para introducir el UF_6 en los montajes de difusión gaseosa y unir los montajes entre sí para formar cascadas (o etapas) que permitan el enriquecimiento progresivo y la extracción del "producto" y los "relaves" de UF_6 de dichas cascadas de difusión. Debido al elevado carácter inercial de las cascadas de difusión, cualquier interrupción de su funcionamiento, y especialmente su parada, acarrea 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 automatizada muy precisa del flujo de gas revisten la mayor importancia en una planta de difusión gaseosa. Todo ello tiene por consecuencia la necesidad de dotar la planta de un gran número de sistemas especiales de medición, regulación y control.

Normalmente el UF_6 se evapora en cilindros colocados dentro de autoclaves y se transporta en forma gaseosa al punto de entrada por medio de colectores tubulares en cascada. Las corrientes gaseosas del "producto" y los "relaves" de UF_6 procedentes de los puntos de salida son conducidas por medio de colectores tubulares en cascada hacia trampas frías o unidades de compresión, en que el UF_6 gaseoso se licúa antes de introducirse en recipientes apropiados para su transporte o almacenamiento. Puesto que una

planta de enriquecimiento por difusión gaseosa consiste en un gran número de unidades de difusión gaseosa dispuestas en cascada, hay muchos kilómetros de tuberías en cascada que incorporan miles de soldaduras y una considerable repetición de montajes. El equipo, los componentes y los sistemas de tuberías deben fabricarse observando normas muy rigurosas de vacío y limpieza.

25.1 *Sistemas de alimentación/sistemas de extracción del "producto" y los "relaves"

Sistemas especialmente concebidos o preparados, capaces de funcionar a presiones de 300 kPa o menos, que comprenden:

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

b) Condensadores (o trampas frías) utilizados para extraer el UF_6 de las cascadas de difusión;

c) Estaciones de licuefacción en las que el UF_6 gaseoso procedente de la cascada se comprime y se enfría para obtener UF_6 líquido;

d) Estaciones para el "producto" o los "relaves", utilizadas para transferir el UF_6 a recipientes.

25.2 *Sistemas colectores

Sistemas de tuberías y colectores especialmente concebidos o preparados para manipular el UF_6 dentro de la cascada de difusión gaseosa.

Normalmente, las tuberías tienen una configuración de sistema colector "doble", en el que cada etapa o grupo de etapas están conectados a cada uno de los colectores.

25.3 *Sistemas de vacío

a) Grandes distribuidores de vacío, colectores de vacío y bombas de vacío, especialmente concebidos o preparados, con una capacidad de aspiración de 5 m^3/min o más;

b) Bombas de vacío especialmente concebidas para funcionar en una atmósfera que contenga UF_6, fabricadas o revestidas de aluminio, níquel o aleaciones que contengan más del 60% de níquel. Dichas bombas pueden ser rotatorias o de desplazamiento positivo y pueden estar dotadas de empaquetaduras de fluorocarburos y utilizar fluidos especiales de trabajo.

25.4 *Válvulas especiales de parada y control

Válvulas de fuelle de parada y control, manuales o automáticas, especialmente concebidas o preparadas, fabricadas de materiales resistentes al UF_6, con diámetros de 40 a 1.500 mm, para instalarlas en los sistemas principales y auxiliares de plantas de enriquecimiento por difusión gaseosa.

25.5 *Espectrómetros de masa para UF_6/fuentes de iones

Espectrómetros de masa magnéticos o cuadripolares especialmente concebidos o preparados, capaces de recoger muestras "en línea" de la alimentación, el "producto" o los "relaves" de las corrientes de UF_6 gaseoso, y que posean todas las características siguientes:

a) Resolución unitaria para la unidad de masa atómica superior a 320;

b) Fuentes de iones fabricadas o revestidas de cromoníquel o metal monel o galvanoniqueladas;

c) Fuentes de ionización por bombardeo electrónico;

d) Sistema colector apropiado para el análisis isotópico.

Nota explicativa:

Los elementos enumerados en la sección 25 se encuentran en contacto directo con el UF_6 gaseoso del proceso o controlan directamente el flujo dentro de la cascada. Todas las superficies que entran en contacto directo con el gas del proceso están fabricadas o revestidas en su totalidad de materiales resistentes al UF_6. Por lo que se refiere a las secciones relativas a los rubros utilizados en difusión gaseosa, entre los materiales resistentes a la corrosión por el UF_6 figuran el acero inoxidable, el aluminio, aleaciones de aluminio, el óxido de aluminio, el níquel o aleaciones que contengan un 60% o más de níquel y los polímeros de hidrocarburos totalmente fluorados resistentes al UF_6.

26. *Sistemas, equipo y componentes especialmente concebidos 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 comprimirse, 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 separación por toberas y el de tubos vorticiales. En ambos procesos los componentes principales de una 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 extraer el calor de compresión. Una planta aerodinámica requiere un gran número de estas etapas, de modo que las cantidades pueden constituir una importante indicación del uso a que se destinan. Puesto que en los procesos aerodinámicos se emplea UF_6, todo el equipo, las tuberías y las superficies de instrumentos (que entran en contacto con el gas) deben fabricarse de materiales que permanezcan estables al contacto con el UF_6.

Nota explicativa:

Los elementos enumerados en esta sección se encuentran en contacto directo con el UF_6 gaseoso del proceso o controlan directamente el flujo dentro de la cascada. Todas las superficies que entran en contacto directo con el gas de proceso están fabricadas o revestidas en su totalidad de materiales resistentes al UF_6. Por lo que se refiere a la sección relativa a los rubros para enriquecimiento aerodinámico, entre los materiales resistentes a la corrosión por el UF_6 figuran el cobre, el acero inoxidable, el aluminio, aleaciones de aluminio, el níquel o aleaciones que contengan un 60% o más de níquel y polímeros de hidrocarburos totalmente fluorados resistentes al UF_6.

26.1 *Toberas de separación

Toberas de separación y sus conjuntos especialmente concebidos 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.

26.2 *Tubos vorticiales

Tubos vorticiales y sus conjuntos especialmente concebidos o preparados. Los tubos vorticiales, de forma cilíndrica o cónica, están fabricados o revestidos de materiales resistentes a la corrosión por el UF_6, su diámetro está comprendido entre 0,5 cm y 4 cm, poseen una relación longitud/diámetro de 20:1 o inferior y poseen una o varias admisiones tangenciales. Los tubos pueden estar dotados de dispositivos de 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, por numerosos orificios tangenciales situados a lo largo de la periferia del tubo.

26.3 *Compresores e impulsores de gas

Compresores axiales, centrífugos o de desplazamiento positivo, o impulsores de gas especialmente concebidos o preparados, fabricados o revestidos de 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 m^3/min o más.

Nota explicativa:

Estos compresores e impulsores de gas normalmente presentan una relación de compresión comprendida entre 1,2:1 y 6:1.

26.4 *Obturadores para ejes de rotación

Obturadores para ejes de rotación especialmente concebidos 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 impulsores de gas con los motores de propulsión, a fin de asegurar un sellado fiable a fin de evitar las fugas del gas de proceso o la penetración de aire o del gas de sellado en la cámara interior del compresor o del impulsor de gas, llena de una mezcla de UF_6/gas portador.

26.5 *Intercambiadores de calor para enfriamiento del gas

Intercambiadores de calor especialmente concebidos o preparados, fabricados o revestidos de materiales resistentes a la corrosión por el UF_6.

26.6 *Carcasas de los elementos de separación

Carcasas de los elementos de separación especialmente concebidas o preparadas, fabricadas o revestidas de materiales resistentes a la corrosión por el UF_6, para contener los tubos vorticiales o las toberas de separación.

Nota explicativa:

Estas carcasas pueden ser recipientes cilíndricos de diámetro superior a 300 mm y longitud superior a 900 mm, o recipientes rectangulares de dimensiones comparables, y pueden concebirse para instalarse en posición horizontal o vertical.

26.7 *Sistemas de alimentación/sistemas de extracción del "producto" y los "relaves"

Sistemas o equipos especialmente concebidos o preparados para plantas de enriquecimiento, fabricados o revestidos de 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) Condensadores (o trampas frías) utilizados para extraer el UF_6 del proceso de enriquecimiento para su posterior transferencia una vez calentado;

c) Estaciones de solidificación o de licuefacción utilizadas para extraer el UF_6 del proceso de enriquecimiento por compresión y conversión del UF_6 al estado líquido o al sólido;

d) Estaciones del "producto" o los "relaves", usadas para transferir el UF_6 a recipientes.

26.8 *Sistemas colectores

Sistemas de tuberías colectoras especialmente concebidos o preparados, fabricados o revestidos de materiales resistentes a la corrosión por el UF_6, para manipular el UF_6 en el interior de las cascadas aerodinámicas. Normalmente, las tuberías tienen una configuración de sistema colector "doble", en el que cada etapa o grupo de etapas están conectados a cada uno de los colectores.

26.9 *Sistemas y bombas de vacío

a) Sistemas de vacío especialmente concebidos o preparados, con una capacidad de aspiración de 5 m^3/min o más, y que comprenden distribuidores de vacío, colectores de vacío y bombas de vacío, que han sido concebidos para funcionar en una atmósfera que contenga UF_6;

b) Bombas de vacío especialmente concebidas para trabajar en una atmósfera que contenga UF_6, fabricadas o revestidas de materiales resistentes a la corrosión por el UF_6. Estas bombas pueden estar dotadas de empaquetaduras de fluorocarburos y utilizar fluidos especiales de trabajo.

26.10 *Válvulas especiales de parada y control

Válvulas de fuelle de parada y control, manuales o automáticas, especialmente concebidas o preparadas, fabricadas o revestidas de materiales resistentes a la corrosión por el UF_6, con diámetros de 40 a 1.500 mm, para instalarlas en los sistemas principales y auxiliares de plantas de enriquecimiento aerodinámico.

26.11 *Espectrómetros de masa para UF_6/fuentes de iones

Espectrómetros de masa magnéticos o cuadripolares especialmente concebidos o preparados, capaces de recoger muestras "en línea" de la alimentación, el

"producto" o los "relaves" de las corrientes de UF_6 gaseoso, y que posean todas las características siguientes:

a) Resolución unitaria para la unidad de masa atómica superior a 320;

b) Fuentes de iones fabricadas o revestidas de cromoníquel o metal monel o galvanoniqueladas;

c) Fuentes de ionización por bombardeo electrónico;

d) Provistos de un sistema colector apropiado para el análisis isotópico.

26.12 *Sistemas de separación UF_6/gas portador

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

Nota explicativa:

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

i) Intercambiadores de calor criogénicos y crioseparadores capaces de alcanzar temperaturas de -120°C o inferiores, o

ii) Unidades de refrigeración criogénicas capaces de alcanzar temperaturas de -120°C o inferiores, o

iii) Unidades de separación de toberas o tubos vorticiales para separar el UF_6 del gas portador, o

iv) Trampas frías para el UF_6 capaces de alcanzar temperaturas de -20°C o inferiores.

27. *Sistemas, equipos y componentes especialmente concebidos o preparados para su utilización en plantas de enriquecimiento por intercambio químico o por intercambio iónico

Nota introductoria

La ligera diferencia 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 equivalente a miles de etapas de separación. La fase acuosa está constituida por cloruro de uranio en una 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 (como columnas pulsatorias dotadas de cubetas perforadas) o contactores centrífugos para reacción líquido-líquido. En ambos extremos de la cascada de separación debe efectuarse una conversión química (oxidación y reducción) para permitir el reflujo en cada extremo. Una

consideración importante con respecto al diseño es evitar la contaminación de las corrientes de proceso por ciertos iones metálicos. Por consiguiente, se utilizan tuberías o columnas de plástico o revestidas de plástico (incluidos polímeros de fluorocarburos) o 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 especial, de acción muy rápida. Se hace pasar una solución de uranio en ácido clorhídrico y otros reactivos químicos a través de columnas cilíndricas de enriquecimiento que contienen lechos de relleno formados 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 extraerse el "producto" y los "relaves". Esto se realiza con reactivos químicos adecuados de reducción/oxidación que se regeneran por completo en circuitos externos independientes y que pueden ser regenerados parcialmente dentro de las propias columnas de separación isotópica. La presencia de soluciones concentradas y calientes de ácido clorhídrico en el proceso obliga a que el equipo esté fabricado o revestido de materiales especiales resistentes a la corrosión.

27.1. *Columnas de intercambio líquido-líquido (intercambio químico)

Columnas de intercambio líquido-líquido en contracorriente alimentadas con energía mecánica (es decir, columnas pulsatorias de cubetas perforadas, columnas de placas de movimiento alternativo y columnas dotadas de mezcladores de turbina internos), especialmente concebidas o preparadas para el enriquecimiento del uranio mediante el proceso de intercambio químico. Para que sean resistentes a la corrosión por las soluciones concentradas de ácido clorhídrico, estas columnas y sus partes internas se fabrican o se revisten de materiales plásticos adecuados (por ejemplo, polímeros de fluorocarburos) o vidrio. Las columnas se han concebido para que el tiempo de residencia correspondiente a una etapa sea breve (30 segundos o menos).

27.2. *Contactores centrífugos para reacción líquido-líquido (intercambio químico)

Contactores centrífugos para reacción líquido-líquido especialmente concebidos o preparados para el enriquecimiento del uranio mediante el proceso de intercambio químico. En estos contactores, la dispersión de las corrientes orgánica y acuosa se consigue por rotación y la separación de las fases mediante fuerza centrífuga. Para que sean resistentes a las soluciones de ácido clorhídrico concentrado, los contactores se fabrican o revisten de materiales plásticos adecuados (por ejemplo, polímeros de fluorocarburo) o se revisten de vidrio. Los contactores centrífugos se han concebido para que el tiempo de residencia correspondiente a una etapa sea breve (30 segundos o menos).

27.3 *Sistemas y equipo de reducción del uranio (intercambio químico)

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

Nota explicativa

El compartimiento catódico de la celda debe estar concebido de modo que el uranio no pase a un estado de valencia más alto por reoxidación. Para retener el uranio en el compartimiento catódico, la celda puede poseer una membrana de diafragma impermeable fabricada de 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 concebidos 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 constan de equipo de extracción por solvente para separar el U^{+4} de la corriente orgánica a fin de introducirlo en una solución acuosa, equipo de evaporación 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 consideración importante en cuanto al diseño es evitar la contaminación de la corriente acuosa con ciertos iones metálicos. En consecuencia, aquellas partes que están en contacto con la corriente del proceso se fabrican o se revisten de materiales adecuados (por ejemplo, vidrio, polímeros de fluorocarburo, sulfato de polifenilo, sulfona de poliéter y grafito impregnado de resina).

27.4 *Sistemas de preparación de la alimentación (intercambio químico)

Sistemas especialmente concebidos o preparados para obtener soluciones de cloruro de uranio de gran pureza destinadas a las plantas de separación isotópica de uranio por intercambio químico.

Nota explicativa

Estos sistemas comprenden equipos de purificación por disolución, extracción por solvente o intercambio iónico y celdas electrolíticas para reducir el catión de uranio U^{+6} o U^{+4} a U^{+3}. Estos sistemas producen soluciones de cloruro de uranio que sólo contienen algunas partes por millón de impurezas metálicas como cromo, hierro, vanadio, molibdeno y otros cationes bivalentes o de valencia más elevada. Entre los materiales de fabricación de las partes del sistema de tratamiento del U^{+3} de gran pureza figuran el vidrio, los polímeros de fluorocarburo, grafito revestido de plástico de sulfato de polifenilo o sulfuro de poliéter e impregnado de resina.

27.5 *Sistemas de oxidación del uranio (intercambio químico)

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

Nota explicativa

Estos sistemas pueden contener equipo del tipo siguiente:

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

empobrecida procedente de la extremidad de la cascada donde se recoge el producto;

ii) Equipo para separar el agua del ácido clorhídrico de modo que el agua y el ácido clorhídrico concentrado puedan reintroducirse en el proceso en puntos adecuados.

27.6 *Resinas/adsorbentes de reacción rápida para el intercambio iónico (Intercambio iónico)

Resinas o adsorbentes de reacción rápida para el intercambio iónico especialmente concebidos o preparados para el enriquecimiento del uranio mediante la utilización del proceso de intercambio iónico, incluidas las resinas macrorreticulares porosas, y/o estructuras peliculares en que los grupos activos de intercambio químico se limitan a formar una capa sobre la superficie de una estructura de apoyo porosa e inerte, y otras estructuras de material mixto en cualquier forma que resulte adecuada, incluidas partículas o fibras. Dichas resinas o adsorbentes para intercambio iónico tienen diámetros de 0,2 mm o menos y deben ser químicamente resistentes a soluciones de ácido clorhídrico concentrado, así como tener la resistencia física suficiente para no degradarse en las columnas de intercambio. Las resinas o adsorbentes están especialmente concebidos para lograr una cinética muy rápida de intercambio de isótopos de uranio (semiperíodo del ritmo de intercambio inferior a 10 segundos) y pueden trabajar a temperaturas comprendidas entre 100°C y 200°C.

27.7 *Columnas de intercambio iónico (Intercambio iónico)

Columnas cilíndricas de más de 1.000 mm de diámetro que contienen lechos de relleno de resina/adsorbente de intercambio iónico, especialmente concebidas o preparadas para el enriquecimiento del uranio por intercambio iónico. Estas columnas están fabricadas o revestidas de 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.

27.8 *Sistemas de reflujo para el intercambio iónico (Intercambio iónico)

a) Sistemas de reducción química o electroquímica especialmente concebidos o preparados para regenerar el reactivo o los reactivos de reducción química utilizados en las cascadas de enriquecimiento del uranio por intercambio iónico;

b) Sistemas de oxidación química o electroquímica especialmente concebidos o preparados para regenerar el reactivo o los reactivos de oxidación química utilizados en las cascadas de enriquecimiento del uranio por intercambio iónico.

Nota explicativa

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

En el proceso se 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}.

28. *Sistemas, equipo y componentes para su utilización en plantas de enriquecimiento por láser

Nota introductoria

Los actuales sistemas de enriquecimiento por láser se clasifican en dos categorías: aquellos en que el medio en que se aplica el proceso es vapor de uranio atómico y aquellos en que dicho medio es el vapor de un compuesto de uranio. La nomenclatura corriente de dichos procesos es la siguiente:

Primera categoría - separación isotópica por láser en vapor atómico (AVLIS o SILVA);

Segunda categoría - separación isotópica molecular por láser (MLIS o SILMO);

Reacción química por activación por láser isotópicamente selectiva (CRISLA).

Los sistemas, el equipo y los componentes de las plantas de enriquecimiento por láser comprenden:

i) Dispositivos para introducir el vapor de uranio metálico (para la fotoionización selectiva) o dispositivos para introducir el vapor de un compuesto de uranio (para la fotodisociación o activación química);

ii) Dispositivos para recoger el uranio metálico enriquecido y empobrecido como "producto" y "relaves" en la primera categoría, y dispositivos para recoger los compuestos que se han disociado o han reaccionado como "productos" y el material no modificado como "relaves" en la segunda categoría;

iii) Sistemas de láser de proceso para excitar selectivamente la especie uranio-235;

iv) Equipo para la preparación de la alimentación y la conversión del producto.

Debido a la complejidad de la espectroscopia de los átomos y compuestos del uranio quizás sea necesario combinar cierto número de tecnologías de láser existentes.

Nota explicativa

Muchos de los elementos enumerados en la presente sección entran directamente en contacto con el uranio metálico en estado de vapor o líquido o con el gas del proceso consistente en UF_6 o una mezcla de UF_6 con otros gases. Todas las superficies que entran en contacto con el uranio o con el UF_6 están fabricadas o revestidas en su totalidad de materiales resistentes a la corrosión. Por lo que se refiere a la sección relativa a los elementos para el enriquecimiento por láser, los materiales resistentes a la corrosión por uranio metálico o aleaciones de uranio en estado de vapor o líquido comprenden el grafito revestido de itria y el tántalo, mientras que entre los materiales resistentes a la corrosión por el UF_6 figuran el cobre, el acero inoxidable, el aluminio, aleaciones de aluminio, el níquel o aleaciones que contengan un 60% o más de níquel y polímeros de hidrocarburos totalmente fluorados resistentes al UF_6.

28.1 *Sistemas de vaporización del uranio (SILVA)

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

28.2 *Sistemas de manipulación del uranio metálico líquido (SILVA)

Sistemas de manipulación de metales líquidos especialmente concebidos o preparados para aleaciones de uranio o uranio fundidos, consistentes en crisoles y equipo de enfriamiento para dichos crisoles.

Nota explicativa

Los crisoles y otras partes de este sistema que entran en contacto con aleaciones de uranio o uranio fundidos están fabricados o revestidos de material suficientemente resistente a la corrosión y al calor. Entre los materiales adecuados se cuentan el tántalo, el grafito revestido de itria, y el grafito revestido de otros óxidos de tierras raras o mezclas de los mismos.

28.3 *Conjuntos colectores del "producto" y los "relaves" de uranio metálico (SILVA)

Conjuntos colectores del "producto" y los "relaves" especialmente concebidos o preparados para el uranio metálico en estado líquido o sólido.

Nota explicativa

Los componentes de estos conjuntos están fabricados o revestidos de materiales resistentes al calor y a la corrosión por el uranio metálico en estado de vapor o líquido (como grafito revestido de itria o tántalo) y pueden comprender tuberías, válvulas, accesorios, canalones, bocas de alimentación, intercambiadores de calor y placas colectoras utilizadas en los métodos de separación magnética, electrostática o de otra índole.

28.4 *Carcasas del módulo separador (SILVA)

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

Nota explicativa

Estas carcasas poseen numerosos orificios para la alimentación eléctrica y de agua, ventanillas para los haces de láser, las conexiones de las bombas de vacío y el instrumental de diagnóstico y vigilancia. Están dotadas de medios de apertura y cierre para poder reparar los componentes internos.

28.5 *Toberas de expansión supersónica (SILMO)

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

28.6 *Colectores del producto (pentafluoruro de uranio) (SILMO)

Colectores de pentafluoruro de uranio (UF_5) sólido especialmente concebidos o preparados, que consisten en colectores de tipo filtro, impacto o ciclónico, o combinaciones de los mismos, y que son resistentes a la corrosión en un medio de UF_5/UF_6.

28.7 *Compresores de UF_6/gas portador (SILMO)

Compresores especialmente concebidos o preparados para mezclas de UF_6 y gas portador, destinados a funcionar por períodos prolongados en un medio de UF_6. Los componentes de estos compresores que entran en contacto con el gas del proceso están fabricados o revestidos de materiales resistentes a la corrosión por el UF_6.

28.8 *Obturadores para ejes de rotación (SILMO)

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

28.9 *Sistemas de fluoración (SILMO)

Sistemas especialmente concebidos o preparados para fluorar el UF_5 (sólido) y convertirlo en UF_6 (gaseoso).

Nota explicativa

Estos sistemas tienen por objeto fluorar el polvo de UF_5 recogido y convertirlo en UF_6 para recogerlo posteriormente en recipientes del "producto" o para reintroducirlo en las unidades SILMO para su enriquecimiento ulterior. En un método, la fluoración puede realizarse dentro del sistema de separación isotópica, y la reacción y la recuperación se realizan directamente en los colectores del "producto". En otro método, el UF_5 en polvo puede retirarse de los colectores del "producto" e introducirlo a un recipiente de reacción adecuado (por ejemplo, un reactor de lecho fluidizado, un reactor helicoidal o una torre de llama) en que se efectúa la fluoración. En ambos métodos, se utiliza equipo de almacenamiento y transferencia del flúor (u otros reactivos de fluoración adecuados) y de recolección y transferencia del UF_6.

28.10 *Espectrómetros de masa para UF_6/fuentes de iones (SILMO)

Espectrómetros de masa magnéticos o cuadripolares especialmente concebidos o preparados, capaces de recoger muestras "en línea" de la alimentación, el "producto" o los "relaves" de las corrientes de UF_6 gaseoso, y que posean todas las características siguientes:

a) Resolución unitaria para la unidad de masa atómica superior a 320;

b) Fuentes de iones fabricadas o revestidas de cromoníquel o metal monel o galvanoniqueladas;

c) Fuentes de ionización por bombardeo electrónico;

d) Provistos de un sistema colector apropiado para el análisis isotópico.

28.11 *Sistemas de alimentación/sistemas de extracción del "producto" y los "relaves" (SILMO)

Sistemas o equipos de proceso especialmente concebidos o preparados para plantas de enriquecimiento, fabricados o revestidos de materiales resistentes a la corrosión por el UF_6, en particular:

a) Autoclaves, hornos o sistemas de alimentación utilizados para introducir al UF_6 en el proceso de enriquecimiento;

b) Condensadores (o trampas frías) utilizados para extraer el UF_6 del proceso de enriquecimiento para su ulterior transferencia una vez calentado;

c) Estaciones de solidificación o de licuefacción utilizadas para extraer el UF_6 del proceso de enriquecimiento por compresión y conversión del UF_6 al estado líquido o al sólido;

d) Estaciones del "producto" o los "relaves" usados para transferir el UF_6 a recipientes.

28.12 *Sistemas de separación UF_6/gas portador (SILMO)

Sistemas de proceso especialmente concebidos o preparados para separar el UF_6 del gas portador. Este último puede ser nitrógeno, argón u otro gas.

Nota explicativa:

Estos sistemas pueden comprender el equipo siguiente:

i) Intercambiadores de calor criogénicos o crioseparadores capaces de alcanzar temperaturas de -120°C o inferiores;

ii) Unidades de refrigeración criogénicas capaces de alcanzar temperaturas de -120°C o inferiores;

iii) Trampas frías para el UF_6 capaces de alcanzar temperaturas de -20°C o inferiores.

28.13 *Sistemas de láser (SILVA, SILMO y CRISLA)

Sistemas de láser especialmente concebidos o preparados para la separación de los isótopos del uranio.

Nota explicativa:

El sistema de láser para el proceso SILVA normalmente está constituido por dos láseres: un láser de vapor de cobre y un láser de colorante. El sistema de láser para el SILMO suele constar de un láser de CO_2 o una combinación de láser de CO_2 y láser de excímero. Los dos sistemas pueden utilizar una celda óptica de paso múltiple con espejos giratorios en ambos extremos. En ambos procesos los láseres o sistemas de láser deben estar dotados de un estabilizador de frecuencia espectral para poder funcionar durante períodos prolongados de tiempo.

28.14 Láser, amplificadores y osciladores de láser como se indica a continuación:

a) Láseres de vapor de cobre que posean las dos características siguientes:

i) Que funcionen a longitudes de onda entre 500 nm y 600 nm;

ii) Con una potencia media de salida de 40 W o superior;

b) Láseres de argón ionizado que posean las dos características siguientes:

i) Que funcionen en longitudes de onda entre 400 nm y 515 nm;

ii) Con una potencia media de salida superior a 40 W;

c) Láseres (que no sean de vidrio) drogados con neodimio, de una longitud de onda de salida entre 1.000 nm y 1.100 nm, y que posean una de las siguientes características:

i) Excitados por impulsos y con conmutación del factor Q, con duración del impulso igual o superior a 1 ns, y que posean una de las siguientes características:

A) Salida de modo único transversal con una potencia media de salida superior a 40 W; o

B) Salida de modo múltiple transversal con una potencia media de salida superior a 50 W;

ii) Que incorporen un duplicador de frecuencia que suministre una longitud de onda de salida de entre 500 nm y 550 nm, con una potencia media de salida superior a 40 W;

d) Osciladores pulsatorios de láser de modo único de colorantes, sintonizables, que posean todas las características siguientes:

i) Que funcionen en longitudes de onda entre 300 nm y 800 nm;

ii) Con una potencia media de salida superior a 1 W;

iii) Con una tasa de repetición superior a 1 kHz;

iv) Con un ancho del impulso inferior a 100 ns;

e) Amplificadores y osciladores pulsatorios de láser de colorantes, sintonizables, que posean todas las características siguientes:

i) Que funcionen en longitudes de onda entre 300 nm y 800 nm;

ii) Con una potencia media de salida superior a 30 W;

iii) Con una tasa de repetición superior a 1 kHz;

iv) Con un ancho de impulso inferior a 100 ns;

Nota:

El párrafo 28.14 e) no incluye los osciladores de modo único.

f) Láseres de alejandrita que posean todas las características siguientes:

i) Que funcionen a longitudes de onda entre 720 nm y 800 nm;

ii) Con un ancho de banda de 0,005 nm o inferior;

iii) Con una tasa de repetición superior a 125 Hz;

iv) Con una potencia media de salida superior a 30 W;

g) Láseres pulsatorios de anhídrido carbónico que posean todas las características siguientes:

i) Que funcionen a longitudes de onda entre 9.000 nm y 11.000 nm;

ii) Con una tasa de repetición superior a 250 Hz;

iii) Con una potencia media de salida superior a 500 W;

iv) Con un ancho de impulso inferior a 200 ns;

Nota:

El párrafo 28.14 g) no incluye los láseres industriales de CO_2 de mayor potencia (normalmente, de 1 a 5 kW) que se utilizan en aplicaciones como corte y soldadura, ya que estos láseres son de onda continua o bien pulsatorios con un ancho de impulso superior a 200 ns.

h) Láseres pulsatorios de excímero (XeF, XeC1, KrF), que posean todas las características siguientes:

i) Que funcionen en longitudes de onda entre 240 nm y 360 nm;

ii) Con una tasa de repetición superior a 250 Hz;

iii) Con una potencia media de salida superior a 500 W;

i) Conmutadores Raman de parahidrógeno concebidos para funcionar a una longitud de onda de salida de 16 μm y con una tasa de repetición superior a 250 Hz;

j) Láseres de electrones libres que posean todas las características siguientes:

i) Una longitud de onda de 589 nm;

ii) Una potencia media superior a 10 W.

28.15 Sistemas SILVA para isótopos estables

Sistemas de separación isotópica por láser en vapor atómico (SILVA) para enriquecimiento de isótopos estables de interés biológico, médico o industrial.

29. *Sistemas, equipo y componentes especialmente concebidos 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 ajustado a la frecuencia de resonancia de los iones ^{235}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 ^{235}U. El plasma, creado por ionización de 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 los "relaves".

29.1 *Fuentes de energía de microondas y antenas

Fuentes de energía de microondas y antenas especialmente concebidas o preparadas para producir o acelerar iones, y que posean las dos características siguientes:

a) Frecuencia superior a 30 GHz;

b) Potencia media de salida superior a 50 kW para la producción de iones.

29.2 *Bobinas excitadoras de iones

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

29.3 *Sistemas de generadores de plasma de uranio

Sistemas especialmente concebidos o preparados para generar plasma de uranio, que pueden contener cañones de haz de electrones en franja o barrido de elevada potencia, y que proporcionan una potencia en el blanco de más de 2,5 kW/cm.

29.4 *Sistemas de manipulación del uranio metálico líquido

Sistemas de manipulación de metales líquidos especialmente concebidos o preparados para aleaciones de uranio o uranio fundidos, consistentes en crisoles y equipo de enfriamiento para dichos crisoles.

Nota explicativa:

Los crisoles y otras partes de este sistema que entran en contacto con aleaciones de uranio o uranio fundidos están fabricados o revestidos de material suficientemente resistente a la corrupción y el calor. Entre los materiales adecuados se cuentan el tántalo, el grafito revestido de itria, y el grafito revestido de otros óxidos de tierras raras o mezclas de los mismos.

29.5 *Conjuntos colectores del "producto" y los "relaves" de uranio metálico

Conjuntos colectores del "producto" y los "relaves" especialmente concebidos o preparados para el uranio metálico en estado sólido. Estos conjuntos de colectores están fabricados o revestidos de materiales resistentes al calor y a la corrosión por el vapor de uranio metálico, como grafito revestido de itria o tántalo.

29.6 *Carcasas del módulo separador

Recipientes cilíndricos especialmente concebidos o preparados para su utilización en plantas de enriquecimiento por separación en plasma y destinadas a contener la fuente de plasma de uranio, una bobina excitadora de radiofrecuencia y los colectores del "producto" y de los "relaves".

Nota explicativa:

Estas carcasas poseen numerosos orificios para la entrada de las barras eléctricas, las conexiones de las bombas de difusión y el instrumental de diagnóstico y vigilancia. Están dotadas de medios de apertura y cierre para poder reparar los componentes internos y están construidas de un material no magnético adecuado, por ejemplo, acero inoxidable.

29.7 *Electroimanes solenoidales superconductores

Electroimanes solenoidales superconductores que reúnan todas las características siguientes:

a) Capacidad de crear campos magnéticos de más de 2 teslas;

b) Con un valor de la relación L/D (longitud dividida por el diámetro interior) superior a 2;

c) Con un diámetro interior de más de 300 mm;

d) Con un campo magnético con grado de uniformidad superior al 1% en la parte central correspondiente al 50% del volumen interior.

Nota 1:

Este rubro no comprende imanes especialmente concebidos como "piezas de" sistemas médicos de formación de imágenes por resonancia nuclear magnética (NMR). Dichos elementos, sin embargo, están sujetos a supervisión.

Nota 2

La expresión "piezas de" no significa necesariamente que se trate de partes físicas que vayan en el mismo cargamento. Se permite el envío de cargamentos separados de distintas procedencias, a condición de que los documentos de exportación correspondientes especifiquen claramente el tipo de relación indicado por la expresión "piezas de".

30. *Sistemas, equipo y componentes utilizados 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 que provoque la desviación del haz iónico y 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 el sistema de suministro de energía del imán, el sistema de suministro de energía de alta tensión de la fuente de iones, el sistema de vacío y complejos sistemas de manipulación química para la recuperación del producto y la depuración y el reciclado de los componentes.

30.1 *Separadores electromagnéticos de isótopos

Separadores electromagnéticos de isótopos especialmente concebidos 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 concebidas o preparadas, que comprenden una fuente de vapor, un ionizador y un acelerador de haz, fabricadas de materiales adecuados como grafito,

acero inoxidable o cobre, y capaces de proporcionar una corriente total del haz iónico de 50 mA o superior;

b) Colectores de iones:

Placas colectoras formadas de dos o más ranuras y bolsones especialmente concebidas o preparadas para recoger haces de iones de uranio enriquecido y empobrecido, y fabricadas de materiales adecuados, como grafito o acero inoxidable;

c) Receptáculos de vacío:

Receptáculos de vacío especialmente concebidos o preparados para los separadores electromagnéticos de uranio, fabricados de materiales no magnéticos adecuados, como el acero inoxidable, y capaces de trabajar a presiones de 0,1 Pa o inferiores;

Nota explicativa:

Los receptáculos, concebidos especialmente para contener las fuentes de iones, las placas colectoras y las camisas de agua, están dotados de medios para conectar las bombas de difusión y dispositivos de apertura y cierre para permitir retirar y reinstalar estos componentes.

d) Piezas polares de los imanes:

Piezas polares de imanes especialmente concebidas o preparadas, utilizadas para mantener un campo magnético constante en el interior del separador electromagnético de isótopos y transferir el campo magnético entre separadores contiguos.

30.2 *Fuentes de alimentación de alta tensión

Fuentes de alimentación de alta tensión para fuentes de iones especialmente concebidas o preparadas, que posean todas las características siguientes:

a) Capacidad de funcionamiento continuo;

b) Tensión de salida de 20.000 V o superior;

c) Intensidad de salida de 1 A o superior;

d) Variación de la tensión inferior al 0,1% durante un período de 8 horas.

30.3 *Fuentes de alimentación magnéticas

Fuentes de alimentación magnéticas de corriente continua de gran intensidad especialmente concebidas o preparadas, que posean todas las características siguientes:

a) Capacidad de producción continua de corriente de 500 A o superior;

b) Tensión de 100 V o superior;

c) Variación de tensión inferior al 0,1% durante un período de 8 horas.

30.4 *Fuentes de alimentación de corriente continua de gran intensidad, distintas de las descritas en el párrafo 30.3, que posean las dos características siguientes:

a) Capacidad de producción continua, durante un período de 8 horas, de corriente de una tensión de 100 V o superior y una intensidad de salida de 500 A o superior;

b) Estabilidad de la corriente o de la tensión con variaciones inferiores al 0,1% durante un período de 8 horas.

30.5 *Fuentes de alimentación de corriente continua de alta tensión distintas de las descritas en el párrafo 30.2, que posean las dos características siguientes:

a) Capacidad de producción continua, durante un período de 8 horas, de corriente de una tensión de 100 V o superior y una intensidad de salida de 500 A o superior;

b) Estabilidad de la corriente o de la tensión con variaciones inferiores al 0,1% durante un período de 8 horas.

30.6 *Bombas de vacío que posean todas las características siguientes:

a) Con un tamaño del gollete de admisión igual o superior a 380 mm;

b) Con velocidad de bombeo igual o superior a 15 m^3/s;

c) Capaces de producir un vacío final mejor que 13,3 mPa.

Nota técnica:

La velocidad de bombeo se determina en el punto de medición con nitrógeno o aire.

El vacío final se determina en la admisión de la bomba, con dicha admisión bloqueada.

30.7 *Separadores electromagnéticos de isótopos, distintos de los especificados en el rubro 30.1 *supra*, concebidos para contener fuentes únicas o múltiples de iones, o dotados de éstas, capaces de proporcionar una corriente total del haz iónico de 50 mA o superior.

Nota técnica:

Una fuente iónica única de 50 mA no puede producir más de 3 g al año de uranio muy enriquecido (UME) separado a partir de una fuente de riqueza isotópica natural.

Nota 1:

El párrafo 30.7 incluye los separadores aptos para el enriquecimiento de isótopos estables, así como los aptos para el enriquecimiento de uranio.

Nota 2:

El párrafo 30.7 incluye los separadores que contienen fuentes iónicas y colectores dentro del campo magnético, así como aquellas configuraciones que los contienen fuera de él.

Instrumentos analíticos y sistemas de control de proceso utilizados en el enriquecimiento de uranio

31. *Espectrómetros de masa

Espectrómetros de masa capaces de medir iones de 230 unidades de masa atómica o mayores, y con una resolución superior a 2 partes en 230, así como fuentes de iones para los mismos, como se indica a continuación.

31.1 Espectrómetros de masa de plasma acoplados inductivamente (ICP/MS)

31.2 Espectrómetros de masa de descarga luminosa (GDMS)

31.3 Espectrómetros de masa de ionización térmica (TIMS)

31.4 *Espectrómetros de masa de bombardeo electrónico, que posean una cámara de fuente construida, revestida o enchapada de materiales resistentes al UF_6

31.5 Espectrómetros de masa de haz molecular que posean *las dos* características siguientes:

a) Una cámara de fuente construida, revestida o enchapada de acero inoxidable o molibdeno;

b) Equipados con una trampa fría capaz de enfriar hasta 193 K (-80°C) o menos.

31.6 *Espectrómetros de masa de haces de moléculas que tengan una cámara de fuente construida, revestida o enchapada de materiales resistentes al UF_6

31.7 *Espectrómetros de masa dotados de una fuente de iones de microfluoración destinada a emplearse con actínidos o fluoruros de actínidos

32. Sistemas de instrumentación y control de procesos para su utilización en enriquecimiento

Instrumentación para observar la temperatura, la presión, el pH, el nivel de fluido o el caudal especialmente concebida para que sea resistente a la corrosión por el UF_6 al estar fabricada o revestida de cualquiera de los materiales siguientes:

a) Acero inoxidable;

b) Aluminio;

c) Aleaciones de aluminio;

d) Níquel;

e) Aleaciones que contengan un 60% o más de níquel.

33. *Programas lógicos especialmente concebidos para el control de plantas o instalaciones de enriquecimiento de uranio

Otras plantas de separación de isótopos

34. Plantas de obtención de agua pesada, deuterio y compuestos de deuterio y equipo para las mismas

Nota introductoria:

El agua pesada puede obtenerse por diversos procesos. No obstante, los dos procesos que han resultado ser viables desde el punto de vista comercial son el proceso de intercambio agua-ácido sulfhídrico (proceso GS) y el proceso de intercambio amoníaco-hidrógeno.

El proceso GS se basa en el intercambio de hidrógeno y deuterio entre el agua y el ácido sulfhídrico 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 ácido sulfhídrico 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 bajas temperaturas, y al ácido sulfhídrico a altas temperaturas. 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 el proceso se repite en las torres de las etapas subsiguientes. El producto de la última etapa, o sea agua enriquecida hasta en un 30% en deuterio, se envía a una unidad de destilación para obtener agua pesada utilizable en reactores, es decir, óxido de deuterio al 99,75%.

El proceso de intercambio amoníaco-hidrógeno permite extraer deuterio a partir de gas de síntesis por contacto con amoníaco líquido en presencia de un catalizador. El gas de síntesis se introduce a las torres de intercambio y posteriormente a un convertidor de amoníaco. Dentro de las torres el gas circula en sentido ascendente, mientras que el amoníaco líquido lo hace en sentido inverso. El deuterio se separa del hidrógeno en el gas de síntesis y se concentra en el amoníaco. El amoníaco pasa entonces a un disociador de amoníaco en la parte inferior de la torre, mientras que el gas sube a un convertidor de amoníaco en la parte superior. En las etapas posteriores se logra un enriquecimiento ulterior y, mediante destilación final, se obtiene agua pesada utilizable en reactores. El gas de síntesis de alimentación puede obtenerse de una planta de amoníaco que, a su vez, puede construirse en asociación a una planta de agua pesada por intercambio amoníaco-hidrógeno. En el proceso de intercambio amoníaco-hidrógeno también se puede utilizar agua común como fuente de alimentación de deuterio.

Gran parte de los rubros del equipo esenciales de las plantas de obtención de agua pesada por el proceso GS o el proceso de intercambio amoníaco-hidrógeno es de uso común en varios sectores de las industrias química y del petróleo. Esto sucede en particular en plantas pequeñas que utilizan el proceso GS. Sin embargo, sólo algunos de los rubros pueden conseguirse en el mercado normal. Los procesos GS y de intercambio amoníaco-hidrógeno exigen manipular grandes cantidades de fluidos inflamables, corrosivos y tóxicos a presiones elevadas. Por consiguiente, cuando se establecen la

concepción y las normas de funcionamiento de plantas y equipo que utilizan estos procesos, debe prestarse esmerada atención a la selección de los materiales y a las especificaciones de éstos, para asegurar una vida útil prolongada con elevados niveles de seguridad y fiabilidad. La elección de la escala es primordialmente función de los aspectos económicos y de las necesidades. Así pues, la mayor parte del equipo se preparará como lo solicite el cliente.

Finalmente, cabe hacer notar que, tanto en el proceso GS como en el de intercambio amoníaco-hidrógeno, piezas de equipo que, por su parte, no están especialmente concebidas o preparadas para la obtención de agua pesada, pueden montarse en sistemas que estén concebidos o preparados especialmente con esa finalidad. A título de ejemplo, entre dichos sistemas cabe citar el sistema de producción con catalizador que se utiliza en el proceso de intercambio amoníaco-hidrógeno y los sistemas de destilación de agua utilizados para la concentración final que permiten obtener agua pesada utilizable en reactores.

Entre las piezas de equipo que son especialmente concebidas o preparadas para obtención de agua pesada, ya sea por el proceso de intercambio agua-ácido sulfhídrico o por el proceso de intercambio amoníaco-hidrógeno, figuran los siguientes elementos:

34.1 Torres de intercambio agua-ácido sulfhídrico

Torres de intercambio especialmente concebidas o preparadas para la obtención de agua pesada por el proceso de intercambio agua-ácido sulfhídrico que posean todas las características siguientes:

a) Construidas de acero al carbono fino (por ejemplo, ASTM A516);

b) De diámetros de 6 m a 9 m;

c) Capaces de funcionar a presiones superiores o iguales a 2 MPa;

d) Con un sobreespesor de 6 mm o superior para prevenirse contra la corrosión.

34.2 Sopladores y compresores

Sopladores o compresores centrífugos, de etapa única y baja altura piezométrica (es decir, 0,2 MPa), para la circulación del ácido sulfhídrico gaseoso (es decir, gas que contiene más de un 70% de H_2S), especialmente concebidos o preparados para la obtención de agua pesada mediante el proceso de intercambio agua-ácido sulfhídrico. Estos sopladores o compresores tienen una capacidad de caudal superior o igual a 56 m^3/segundo al funcionar a presiones de aspiración superiores o iguales a 1,8 MPa y tienen empaquetaduras destinadas a trabajar en un medio húmedo con H_2S.

34.3 Torres de intercambio amoníaco-hidrógeno

Torres de intercambio amoníaco-hidrógeno de altura superior o igual a 35 m y diámetro de 1,5 m a 2,5 m, capaces de funcionar a presiones superiores a 15 MPa, especialmente concebidas o preparadas para la obtención de agua pesada mediante el proceso de intercambio amoníaco-hidrógeno. Estas torres también tienen al menos

una abertura axial, dotada de brida, del mismo diámetro que la parte cilíndrica, a través de la cual pueden insertarse o extraerse las partes internas.

34.4 Partes internas de las torres y bombas de etapa

Partes internas de las torres y bombas de etapa especialmente concebidas o preparadas para torres de obtención de agua pesada mediante el proceso de intercambio amoníaco-hidrógeno. Las partes internas de las torres comprenden contactores de etapa especialmente concebidos para favorecer un contacto íntimo entre el gas y el líquido. Las bombas de etapa comprenden bombas sumergibles especialmente concebidas para la circulación del amoníaco líquido en una etapa de contacto al interior de las torres.

34.5 Disociadores de amoníaco

Disociadores de amoníaco con presión de funcionamiento superior o igual a 3 MPa, especialmente concebidos o preparados para la obtención de agua pesada mediante el proceso de intercambio amoníaco-hidrógeno.

34.6 Analizadores por absorción en el infrarrojo

Analizadores por absorción en el infrarrojo capaces de efectuar análisis "en línea" de la razón hidrógeno/deuterio cuando las concentraciones de deuterio son superiores o iguales al 90%.

34.7 Quemadores catalíticos

Quemadores catalíticos para la conversión del deuterio gaseoso enriquecido en agua pesada, especialmente concebidos o preparados para la obtención de agua pesada mediante el proceso de intercambio amoníaco-hidrógeno.

34.8 Sistemas para aumentar la concentración del agua pesada

Sistemas completos para aumentar la concentración del agua pesada, o columnas de dichos sistemas, especialmente concebidos o preparados para aumentar la concentración en deuterio del agua pesada hasta un grado utilizable en reactores.

Nota explicativa:

Estos sistemas, que emplean por lo general procesos de destilación para separar el agua pesada del agua ligera, están especialmente concebidos o preparados para obtener agua pesada utilizable en reactores (generalmente, con un 99,75% de óxido de deuterio) a partir de existencias de agua pesada de menor concentración.

34.9 Catalizadores platinizados

Catalizadores platinizados especialmente concebidos o preparados para favorecer la reacción de intercambio isotópico de hidrógeno entre el hidrógeno y el agua para la recuperación de tritio a partir de agua pesada o para la obtención de agua pesada.

34.10 Relleno especializado

Relleno especializado para su utilización en la separación de agua pesada del agua corriente, que posean *las dos* características siguientes:

a) Fabricado de malla de bronce fosforado o cobre (ambos con un tratamiento químico que mejore la humectabilidad);

b) Concebido para su empleo en torres de destilación al vacío.

34.11 Bombas de circulación

Bombas para hacer circular soluciones de amida potásica catalizadora diluida o concentrada en amoníaco líquido (KNH_2/NH_3), que reúnan todas las características siguientes:

a) Estancas (es decir, cerradas herméticamente);

b) Capacidad superior a 8,5 m^3/h;

c) Con una de las dos características siguientes:

i) Para soluciones concentradas de amida potásica (1% o más), con una presión de funcionamiento de 1,5 a 60 MPa;

ii) Para soluciones diluidas de amida potásica (menos del 1%), presión de funcionamiento de 20 a 60 MPa.

34.12 Turboexpansores

Turboexpansores o conjuntos turboexpansores-compresores que posean *las dos* características siguientes:

a) Concebidos para funcionar a una temperatura de salida de 35 K (-38°C) o inferior;

b) Concebidos para un caudal de gas hidrógeno de 1.000 kg/h o superior.

34.13 Columnas de bandejas y contactores internos para el intercambio agua-ácido sulfhídrico

a) Columnas de bandejas para el intercambio agua-ácido sulfhídrico que reúnan todas las características siguientes:

i) Que puedan funcionar a presiones de 2 MPa o superiores;

ii) Construidas de acero al carbono con una granulometría austenítica ASTM (o norma equivalente) del número 5 o superior;

iii) Con un diámetro de 1,8 m o superior.

b) Contactores internos para las columnas de bandejas de intercambio agua-ácido sulfhídrico descritas en el párrafo 34.13 a).

Nota técnica:

Los contactores internos de las columnas son bandejas segmentadas con un diámetro conjunto interior útil de 1,8 m o superior; están concebidos para facilitar el contacto a contracorriente y están construidos de aceros inoxidables con un contenido de carbono del 0,03% o inferior. Las bandejas pueden ser perforadas, de válvulas, de casquete de burbujeo o de rejillas planas con aberturas paralelas.

34.14 Columnas de destilación criogénica de hidrógeno que reúnan todas las características siguientes:

a) Concebidas para funcionar a temperaturas internas de -238 C (35 K) o menos;

b) Concebidas para funcionar a una presión interna de 0,5 a 5 MPa (5 a 50 atmósferas);

c) Construidas de una de las dos maneras siguientes:

i) Con aceros inoxidables de la serie 300 de bajo contenido de azufre, con una granulometría austenítica ASTM (o norma equivalente) del número 5 o superior;

ii) Con materiales equivalentes criogénicos y compatibles con el H_2;

d) Con diámetro interno de 1 m o más y longitud efectiva de 5 m o más.

34.15 Convertidores de síntesis de amoníaco

Unidades de síntesis de amoníaco en las que el gas de síntesis (nitrógeno e hidrógeno) se extrae de una columna de intercambio amoníaco/hidrógeno de alta presión y el amoníaco sintetizado se devuelve a dicha columna.

35. *Plantas y equipo especialmente concebidos para la separación de litio-6

Instalaciones o plantas para la separación isotópica de litio y el equipo correspondiente, como se indica a continuación:

35.1 *Instalaciones o plantas para la separación de los isótopos de litio

35.2 *Equipo para la separación de los isótopos de litio

a) Columnas de intercambio líquido-líquido con relleno especialmente concebidas para amalgamas de litio;

b) Bombas para mercurio o amalgama de litio;

c) Células electrolíticas para amalgama de litio;

d) Evaporadores para soluciones concentradas de hidróxido de litio.

36 *Instalaciones o plantas y equipo para la producción de tritio

36.1 *Instalaciones o plantas para la producción, la recuperación, la extracción, la concentración o la manipulación de tritio

36.2 Equipo para instalaciones o plantas de tritio

a) Unidades de refrigeración de hidrógeno o helio capaces de refrigerar hasta 23 K (-250°C) o menos, con capacidad frigorífica superior a 150 vatios;

b) Sistemas de almacenamiento o purificación de tritio que utilicen hidruros de metal como medio de almacenamiento o purificación.

Nota:

Véase también el párrafo 18.

Plantas y equipo para la conversión de uranio y plutonio

Nota introductoria 1:

Los sistemas y plantas de conversión del uranio permiten realizar una o varias transformaciones de un compuesto químico del uranio en otro, en particular:

i) Conversión de concentrados de mena uranífera en UO_3;

ii) Conversión de UO_3 en UO_2;

iii) Conversión de óxidos de uranio en UF_4 o UF_6;

iv) Conversión de UF_6 en UF_4;

v) Conversión de UF_4 en UF_6;

vi) Conversión de UF_4 en uranio metálico;

vii) Conversión de fluoruros de uranio en UO_2;

viii) Conversión de óxidos de uranio en UCl_4.

La lista precedente no es exhaustiva. Comprende únicamente los métodos de conversión más importantes. Todos los sistemas utilizados para convertir uranio en diversos compuestos químicos o viceversa quedan comprendidos en esta sección, independientemente de si aparecen o no explícitamente en la lista.

Gran parte de los elementos del equipo esencial de las plantas de conversión de uranio es de uso común en varios sectores de la industria química. Por ejemplo, entre los tipos de equipo empleados en estos procesos cabe citar hornos, hornos de calcinación giratorios, reactores de lecho fluidizado, reactores de torre de llama, centrífugas en fase líquida, columnas de destilación y columnas de extracción líquido-líquido. Sin embargo, sólo algunos de los elementos pueden conseguirse en el mercado normal; la mayoría se preparará según las necesidades y las especificaciones del cliente. En algunos casos, son necesarias consideraciones especiales acerca de la concepción y la construcción para tener en cuenta las propiedades corrosivas de algunos de los productos químicos que se manejan (HF, F_2, ClF_3 y fluoruros de uranio). ***Finalmente, cabe hacer notar que en todos los procesos de conversión de uranio, piezas de equipo que, por su parte, no están especialmente concebidas o preparadas para la conversión de uranio pueden montarse en sistemas que estén concebidos o preparados especialmente con esa finalidad.***

Nota introductoria 2:

Los sistemas y plantas de conversión del plutonio permiten realizar una o varias transformaciones de un compuesto químico del plutonio en otro, en particular:

i) Conversión de nitrato de plutonio en PuO_2;

ii) Conversión de PuO_2 en PuF_4;

iii) Conversión de óxidos de PuF_4 en plutonio metálico.

Las plantas de conversión de plutonio suelen ir asociadas a instalaciones de reelaboración, pero también pueden estarlo con instalaciones de producción de combustible de plutonio. Gran parte de los elementos del equipo esencial de las plantas de conversión de plutonio es de uso común en varios sectores de la industria química. Por ejemplo, entre los tipos de equipo empleados en estos procesos cabe citar hornos, hornos de calcinación giratorios, reactores de lecho fluidizado, reactores de torre de llama, centrífugas en fase líquida, columnas de destilación y columnas de extracción líquido-líquido. También pueden ser necesarias celdas calientes, cámaras de manipulación con guantes y dispositivos de manipulación a distancia. Sin embargo, sólo algunos de los elementos pueden conseguirse en el mercado normal; la mayoría se preparará según las necesidades y las especificaciones del cliente. En algunos casos, son necesarias consideraciones especiales acerca de la concepción y la construcción para tener en cuenta las propiedades corrosivas de algunos de los productos químicos que se manejan (por ejemplo, el HF). ***Finalmente, cabe hacer notar que en todos los procesos de conversión de uranio, piezas de equipo que, por su parte, no están especialmente concebidas o preparadas para la conversión de uranio pueden montarse en sistemas que estén concebidos o preparados especialmente con esa finalidad.***

37. Sistemas especialmente concebidos o preparados para la conversión de concentrados de mena uranífera en UO_3

Nota explicativa:

La conversión de los concentrados de mena uranífera en UO_3 puede realizarse disolviendo primero el mineral en ácido nítrico y extrayendo el nitrato de uranilo purificado con ayuda de un solvente como fosfato de tributilo. A continuación, el nitrato de uranilo se convierte en UO_3, ya sea mediante concentración y desnitrificación, o por neutralización con amoníaco gaseoso para obtener diuranato de amonio, que después es sometido a filtración, secado y calcinación.

38. *Sistemas especialmente concebidos o preparados para la conversión de UO_3 en UF_6

Nota explicativa:

La conversión de UO_3 en UF_6 puede realizarse directamente por fluoración. El proceso exige una fuente de flúor gaseoso o trifluoruro de cloro.

39. Sistemas especialmente concebidos o preparados para la conversión de UO_3 en UO_2

Nota explicativa:

La conversión de UO_3 en UO_2 puede realizarse mediante la reducción del UO_3 con amoníaco gaseoso disociado o hidrógeno.

40. *Sistemas especialmente concebidos o preparados para la conversión de UO_2 en UF_4

Nota explicativa:

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

41. *Sistemas especialmente concebidos o preparados para la conversión de UF_4 en UF_6

Nota explicativa:

La conversión de UF_4 en UF_6 se realiza por reacción exotérmica con flúor en un reactor de torre. El UF_6 se condensa a partir de los efluentes gaseosos calientes haciendo pasar los efluentes por una trampa fría, enfriada a -10°C (263 K). Para el proceso se necesita una fuente de flúor gaseoso.

42. *Sistemas especialmente concebidos o preparados para la conversión de UF_4 en U metálico

Nota explicativa:

La conversión del UF_4 en U metálico se realiza por reducción con magnesio (grandes cantidades) o calcio (pequeñas cantidades). La reacción se efectúa a una temperatura superior al punto de fusión del uranio (1.130°C).

43. *Sistemas especialmente concebidos o preparados para la conversión de UF_6 en UO_2

Nota explicativa:

La conversión de UF_6 en UO_2 puede realizarse por uno u otro de tres procesos diferentes. En el primero, el UF_6 es reducido e hidrolizado, convirtiéndose en UO_2, con ayuda de hidrógeno y vapor. En el segundo, el UF_6 se hidroliza por disolución en agua, se añade amoníaco para precipitar diuranato de amonio y éste se reduce a UO_2 con hidrógeno a 820°C. En el tercer proceso, se combinan UF_6, CO_2 y NH_3 gaseosos en agua, con lo que se precipita carbonato de amonio y uranilo. El carbonato de amonio y uranilo se hace reaccionar con vapor e hidrógeno a temperaturas de 500-600°C para obtener UO_2. La conversión de UF_6 en UO_2 suele realizarse como la primera etapa de una planta de fabricación de combustible.

44. *Sistemas especialmente concebidos o preparados para la conversión de UF_6 en UF_4

Nota explicativa:

La conversión de UF_6 en UF_4 se realiza por reducción con hidrógeno.

45. *Sistemas especialmente concebidos o preparados para la conversión de UO_2 en UCl_4

Nota explicativa:

La conversión del UO_2 en UCl_4 puede realizarse haciendo reaccionar el UO_2 con CCl_4 a altas temperaturas. En el primer sistema se hace reaccionar el UO_2 con tetracloruro de carbono (CCl_4) a unos 400°C aproximadamente. En el segundo se hace reaccionar el UO_2 a una temperatura aproximada de 700°C en presencia de negro de carbón (CAS 1333-86-4), monóxido de carbono y cloro para obtener UCl_4.

46. *Celdas electrolíticas para la producción de flúor

Celdas electrolíticas para la producción de flúor con capacidad de producción superior a 10 gramos de flúor por hora y partes y accesorios de las mismas especialmente concebidos.

47. *Sistemas de conversión de nitrato de plutonio en óxido de plutonio

Nota explicativa:

Las funciones principales de que consta este proceso son las siguientes: almacenaje y adaptación del material de alimentación del proceso, precipitación y separación sólido/líquido, calcinación, manipulación del producto, ventilación, eliminación de residuos y control del proceso. Los sistemas del proceso están especialmente adaptados para evitar la criticidad y los efectos de la radicación y reducir al mínimo los riesgos de toxicidad. En la mayoría de las instalaciones de reelaboración, este proceso entraña la conversión del nitrato de plutonio en dióxido de plutonio. Otros procesos pueden comportar la precipitación de oxalato de plutonio o peróxido de plutonio.

48. *Sistemas de producción de plutonio metálico

Nota explicativa:

Este proceso comporta, por lo general, la fluoración de dióxido de plutonio, casi siempre con ácido fluorhídrico altamente corrosivo, a fin de producir fluoruro de plutonio, que a continuación se reduce mediante calcio metálico de gran pureza para obtener plutonio metálico y escoria de fluoruro de calcio. Las funciones principales de que consta este proceso son las siguientes: fluoración (por ejemplo, mediante equipo fabricado o revestido de un metal precioso), reducción a metal (por ejemplo, mediante crisoles de cerámica), recuperación de la escoria, manipulación del producto, ventilación, eliminación de residuos y control del proceso. Los sistemas del proceso están especialmente adaptados para evitar la criticidad y los efectos de la radicación y reducir al mínimo los riesgos de toxicidad. Otros procesos comportan la fluoración de oxalato de plutonio o de peróxido de plutonio seguida de su reducción a metal.

Reactores nucleares y su equipo

49. Reactores nucleares y su equipo

49.1 Reactores nucleares completos

Reactores nucleares capaces de funcionar de manera que se pueda mantener y controlar una reacción de fisión en cadena autosostenida.

Nota explicativa:

Un reactor nuclear comprende fundamentalmente todos los dispositivos que se encuentran en el interior del recipiente del reactor o que están conectados directamente con éste, 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.

49.2 Recipientes del reactor nuclear

Recipientes metálicos, bien como unidades completas o como piezas importantes fabricadas en taller para las mismas, que estén especialmente concebidas o preparadas para contener el núcleo de un reactor nuclear y sus componentes internos correspondientes.

Nota explicativa:

Una placa que recubre la parte superior del recipiente de un reactor queda comprendida en el rubro 49.2 como pieza importante de un reactor nuclear fabricada en taller.

49.3 Máquinas para la carga y descarga del combustible en el reactor

Equipo de manipulación especialmente concebido o preparado para introducir o extraer el combustible en un reactor nuclear.

Nota explicativa:

Los elementos indicados en este párrafo permiten cargar el combustible con el reactor en funcionamiento o incluyen dispositivos de colocación o alineación técnicamente complejos que permiten realizar operaciones complicadas de carga de combustible con el reactor parado, como aquellas en las que normalmente no es posible observar directamente el combustible ni tener acceso a éste.

49.4 Varillas y equipo de control para reactores nucleares

Varillas, estructuras de soporte o suspensión, mecanismos de accionado o tubos guía de las mismas, especialmente concebidos o preparados para el control de la velocidad de reacción en un reactor nuclear.

49.5 Tubos de presión para reactores nucleares

Tubos especialmente concebidos o preparados para contener los elementos combustibles y el refrigerante primario de un reactor a una presión de trabajo superior a las 50 atmósferas.

49.6 Tubos de circonio

Circonio metálico y aleaciones de circonio en forma de tubos o conjuntos de tubos, especialmente concebidos o preparados para su uso en un reactor, y en que la razón hafnio/circonio sea inferior a 1:500 partes en peso.

49.7 Bombas del refrigerante primario

Bombas especialmente concebidas o preparadas para hacer circular el refrigerante primario en reactores nucleares.

Nota explicativa:

Las bombas especialmente concebidas o preparadas pueden incluir 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 conforme a las normas NC-1 (o equivalentes).

49.8 Dispositivos internos de reactores nucleares

Dispositivos internos de reactores nucleares especialmente concebidos o preparados para su uso en dichos reactores, como columnas de sustentación del núcleo, conductos de combustible, blindajes térmicos, placas deflectoras, placas para el reticulado del núcleo y placas difusoras.

Nota explicativa 1:

Los dispositivos internos de reactores nucleares son estructuras importantes que se encuentran dentro del recipiente del reactor y tienen una o varias funciones, tales como sostener el núcleo, mantener la alineación del combustible, dirigir el flujo del refrigerante primario, proteger el recipiente del reactor contra la radicación y guiar la instrumentación incorporada al núcleo.

Nota explicativa 2:

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

49.9 Intercambiadores de calor

Intercambiadores de calor (generadores de vapor) especialmente concebidos o preparados para su uso en el circuito del refrigerante primario de un reactor nuclear.

Nota explicativa:

Los generadores de vapor están especialmente concebidos o preparados para transferir el calor generado en el reactor (circuito primario) al agua de alimentación (circuito secundario) para la generación de vapor. Si se trata de un reactor reproductor rápido de metal líquido que cuenta también con un circuito cerrado intermedio de refrigeración de metal líquido, se sobreentiende que los intercambiadores de calor que transfieren el calor del circuito primario al circuito intermedio de refrigeración están, al igual que el generador de vapor, bajo control.

49.10 Instrumentos de detección y medición de neutrones

Instrumentos de detección y medición de neutrones especialmente concebidos o preparados para determinar los niveles de flujo de neutrones dentro del núcleo de un reactor nuclear.

Nota explicativa:

Este rubro comprende la instrumentación, tanto la incorporada como la externa al núcleo, que mide los niveles de flujo a lo largo de una amplia gama, por lo general desde los 10^4 neutrones por cm^2 por segundo hasta los 10^{10} neutrones o más por cm^2 por segundo. La expresión 'externa al núcleo' se refiere a aquellos instrumentos descritos en el párrafo 49 como situados fuera del núcleo de un reactor nuclear, pero dentro de la protección biológica.

49.11 Deuterio y agua pesada

Deuterio, agua pesada (óxido de deuterio) y cualquier otro compuesto de deuterio en que la razón deuterio/hidrógeno en número de átomos exceda de 1:5.000.

49.12 Grafito de pureza nuclear

Grafito con un grado de pureza mayor que el correspondiente a 5 ppm de equivalente de boro y con una densidad superior a 1,50 g/cm^3.

Nota explicativa:

El equivalente de boro (EB) puede determinarse experimentalmente o calcularse como la suma de EB_z para impurezas (excepto el $EB_{carbono}$, pues el carbono no se considera una impureza) que contengan boro, donde:

i) EB_z (ppm) = CF x concentración de elementos Z (en ppm);

ii) CF es el factor de conversión: (σ_z x A_B) dividido por (σ_B x A_z);

iii) σ_B y σ_z son los promedios respectivos de captura de neutrones térmicos (en barnios) para el boro y para el elemento Z en estado natural.

49.13 Simuladores de reactor nuclear

Simuladores electrónicos especialmente diseñados o preparados para lograr la simulación completa del funcionamiento y el control de un reactor nuclear.

Plantas de fabricación de combustible nuclear

50. Plantas y equipo de fabricación de elementos combustibles

Nota introductoria:

Los elementos constitutivos del combustible nuclear se fabrican a partir de una o más fuentes de materiales fisionables especiales. Para los combustibles en forma de óxido, que es el tipo de combustible más común, se contará con equipo para comprimir pastillas, sinterizar, moler y cribar. Los combustibles formados por mezclas de óxidos se manipulan en cámaras accesibles con guantes (o sistemas de contención equivalentes) hasta que se introducen y sellan en la envainadura. En todos los casos, el combustible queda confinado en una envainadura herméticamente cerrada, que está concebida como envoltura primaria del combustible a fin de proporcionar un rendimiento y un nivel de seguridad adecuados durante el funcionamiento del reactor. Asimismo, en todos los casos, es necesario un control preciso de los procesos, procedimientos y equipo con arreglo a normas muy exigentes, a fin de asegurar un rendimiento predecible y seguro del combustible.

Nota explicativa:

Entre los componentes del equipo a los que se considera referida la expresión "equipo para la fabricación de elementos combustibles" figura el equipo:

Que normalmente entra en contacto directo con la corriente de producción de materiales nucleares o que se emplea directamente para el tratamiento o control de dicha corriente;

i) Que sella el material nuclear dentro de la envainadura;

ii) Sirve para verificar la integridad de la envainadura o el sellado;

iii) Se utiliza para el tratamiento superficial de acabado del combustible sellado.

Dicho equipo o sistemas del equipo comprenden, por ejemplo:

i) Estaciones totalmente automáticas de inspección de las pastillas, especialmente concebidas o preparadas para verificar las dimensiones finales y los posibles defectos superficiales de las pastillas de combustible;

ii) Máquinas automáticas de soldadura especialmente concebidas o preparadas para soldar los topes a las agujas o varillas de combustible;

iii) Estaciones automáticas de ensayo e inspección especialmente concebidas o preparadas para verificar la integridad del acabado de las agujas o varillas de combustible.

Por lo general el punto iii) comprende equipo para:

a) Examen con rayos X de la soldadura de los topes de las agujas o varillas;

b) Detección de fugas de helio de la agujas o varillas presurizadas;

c) Exploración con rayos gamma de las agujas o varillas para verificar la correcta carga de las pastillas de combustible en su interior.

Tecnología de reelaboración y su equipo

51. *Plantas y equipo de reelaboración de elementos combustibles irradiados

Nota introductoria:

En la reelaboración del combustible irradiado se separan el plutonio y el uranio de los productos de fisión y otros elementos transuránicos de elevada radiactividad. Esta separación puede lograrse mediante diferentes procesos técnicos. Sin embargo, con el tiempo el proceso Purex ha pasado a ser el más aceptado y utilizado. El proceso Purex entraña 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 solvente utilizando una mezcla de fosfato de tributilo en un diluyente orgánico.

En las distintas instalaciones Purex se realizan operaciones de proceso similares, a saber: troceado de los elementos combustibles irradiados, extracción por solvente y almacenamiento de las soluciones obtenidas. Puede haber asimismo equipo para la desnitrificación térmica del nitrato de uranio, la conversión de nitrato de plutonio en óxido o metal y el tratamiento de las soluciones de productos de fisión para darles una forma que se preste al almacenamiento o a la evacuación a largo plazo. Sin embargo, el tipo y la configuración concretos del equipo destinado a estas operaciones pueden diferir de una instalación Purex a otra por diversas razones, en particular el tipo y la cantidad del combustible nuclear irradiado que se ha de reelaborar y el destino que se quiera dar a los materiales recuperados, además de las consideraciones de seguridad y mantenimiento incluidas en la concepción de la instalación.

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

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

51.1 *Máquinas troceadoras de elementos combustibles irradiados

Nota introductoria:

Estas máquinas rompen la envainadura del combustible para dejar al descubierto el material nuclear irradiado que se ha de disolver. Para esta

operación suelen utilizarse cizallas metálicas de concepción especial, aunque puede utilizarse equipo avanzado, como láseres.

Troceadores accionados a distancia especialmente concebidos o preparados para su utilización en una planta de reelaboración, conforme se describe anteriormente, y destinados a cortar, trocear o cizallar conjuntos, haces o varillas de combustible nuclear irradiado.

51.2 *Recipientes de disolución

Nota introductoria:

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

Estanques a prueba de criticidad (por ejemplo, estanques de pequeño diámetro, anulares o planos) especialmente concebidos o preparados para su utilización en una planta de reelaboración conforme se describe anteriormente, destinados a disolver combustible nuclear irradiado, capaces de resistir líquidos a alta temperatura y sumamente corrosivos, y que pueden cargarse y mantenerse mediante acción a distancia.

51.3 *Extractores y equipo de extracción por solvente

Nota introductoria:

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

Extractores por solvente especialmente concebidos o preparados, por ejemplo, columnas de relleno o pulsatorias, mezcladores-sedimentadores o contactores centrífugos para su empleo en una planta de reelaboración de combustible irradiado. Los extractores por solvente deben ser resistentes a la acción corrosiva del ácido nítrico. Estos extractores suelen fabricarse con arreglo a normas sumamente estrictas (en particular, técnicas especiales de soldadura, inspección, control de calidad y garantía de calidad) de aceros inoxidables con bajo contenido de carbono, titanio, circonio u otros materiales de gran calidad.

51.4 *Recipientes de recolección o almacenamiento de productos químicos

Nota introductoria:

En la etapa de extracción por solvente se obtienen tres corrientes principales de soluciones. Para el tratamiento ulterior de estas tres corrientes se emplean recipientes de recolección o almacenamiento, como se describe a continuación:

La solución de nitrato de uranio puro se concentra por evaporación y se transfiere a un proceso de desnitrificación, en que se convierte en óxido de uranio. Este óxido se reutiliza en el ciclo del combustible nuclear.

La solución de productos de fisión intensamente radiactiva suele concentrarse por evaporación y almacenarse como solución concentrada. Esta solución puede posteriormente evaporarse y convertirse en una forma adecuada para el almacenamiento o la evacuación.

La solución de nitrato de plutonio puro se concentra y se almacena antes de pasar a etapas ulteriores del proceso. En particular, los recipientes de recolección o almacenamiento de soluciones de plutonio están concebidos para evitar problemas de criticidad resultantes de cambios en la concentración y en la forma del flujo.

Recipientes de recolección o almacenamiento especialmente concebidos o preparados para su utilización en plantas de reelaboración de combustible irradiado. Los recipientes de recolección o almacenamiento deben ser resistentes a la acción corrosiva del ácido nítrico. Suelen fabricarse de materiales como aceros inoxidables con bajo contenido de carbono, titanio, circonio u otros materiales de gran calidad. Los recipientes de recolección y almacenamiento pueden estar concebidos para su manipulación y mantenimiento a distancia y pueden tener las siguientes características para controlar la criticidad nuclear:

a) Paredes o estructuras internas con un equivalente de boro del 2% como mínimo; o

b) Diámetro máximo de 175 mm en el caso de recipientes cilíndricos; o

c) Ancho máximo de 75 mm en el caso de recipientes planos o anulares.

51.5 Celdas calientes y equipo conexo especialmente concebidos o preparados para la manipulación o el tratamiento de radioisótopos o fuentes de radiación en aplicaciones médicas e industriales, como se indica a continuación:

a) Ventanas de protección contra las radiaciones, de alta densidad (de vidrio de plomo u otro material), así como los correspondientes marcos, especialmente concebidos para ellas, que reúnan todas las características siguientes:

i) Una “zona fría” de más de 0,09 m2;

ii) Una densidad superior a 3 g/cm3;

iii) Un espesor de 100 mm o más.

Nota técnica:

En el párrafo 51.5 a) i), el término “zona fría” designa el campo visual de la ventana que está expuesto al nivel de radiación más bajo en su aplicación.

b) Cámaras de televisión resistentes a la radiación, especialmente concebidas o especificadas para resistir radiaciones de más de 5×10^4 Gy (silicio) sin degradación de su funcionamiento, y las lentes especialmente concebidas que se utilizan en dichas cámaras.

Nota técnica:

El término Gy (silicio) hace referencia a la energía, en julios por kilogramo, absorbida por una muestra de silicio no blindada al ser expuesta a una radiación ionizante.

c) “Robots” u “operadores terminales” que posean cualquiera de las características siguientes:

i) Estar especialmente concebidos para cumplir las normas nacionales de seguridad aplicables al manejo de explosivos detonantes (como, por ejemplo, cumplir las especificaciones del código de electricidad para explosivos detonantes);

ii) Estar especialmente concebidos o clasificados para resistir radiaciones de más de 5 x 10^4 Gy (silicio) sin degradación de su funcionamiento.

Nota técnica:

El término Gy (silicio) hace referencia a la energía, en julios por kilogramo, absorbida por una muestra de silicio no blindada al ser expuesta a una radiación ionizante.

d) Dispositivos de control especialmente concebidos para cualesquiera de los "robots" u "operadores terminales" descritos en el rubro 51.5 c).

Nota:

El párrafo 51.5 d) no incluye los "robots" especialmente concebidos para aplicaciones de la industria no nuclear, tales como las cabinas de pintado de automóviles por atomización.

Nota técnica 1:

En el párrafo 51.5 d), "robot" hace referencia a un mecanismo de manipulación, que puede ser del tipo de funcionamiento sobre una trayectoria continua o del tipo punto a punto, que puede utilizar sensores y que reúne todas las características siguientes:

i) Estar dotado de funciones múltiples;

ii) Ser capaz de ubicar u orientar materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales mediante movimientos variables en un espacio tridimensional;

iii) Contar con tres o más servomecanismos de bucle cerrado o abierto con la posible inclusión de motores paso a paso;

iv) Dar al usuario la capacidad de programarlo mediante el método del aprendizaje/repetición o mediante una computadora electrónica que puede actuar como controlador lógico programable, es decir, sin intervención mecánica.

Nota técnica 2:

En la definición anterior, el término "sensores" hace referencia a detectores de un fenómeno físico, cuya salida (tras la conversión en una señal que puede ser interpretada por un controlador) puede generar "programas" o modificar instrucciones programadas o datos numéricos del "programa". Esto incluye sensores con visión artificial, formación de imágenes por rayos infrarrojos, formación de imágenes por ondas acústicas, sensibilidad táctil, medición de la posición inercial, telemetría óptica o acústica o capacidad dinamométrica o torsiométrica.

Nota técnica 3:

En la definición anterior, la expresión "dar al usuario la capacidad de programarlo" hace referencia a la posibilidad de que el usuario inserte, modifique o sustituya programas por medios que no sean:

i) Un cambio físico en los cables o en las interconexiones;

ii) Fijación de controles de función, incluida la introducción de parámetros.

Nota técnica 4:

La definición anterior no abarca los dispositivos siguientes:

Mecanismos de manipulación que sólo se controlen de forma manual o por operador a distancia;

Mecanismos de manipulación en una sucesión fija que consistan en dispositivos móviles automatizados que funcionen de acuerdo con movimientos programados, definidos mecánicamente. El "programa" está limitado mecánicamente por medio de topes fijos, como vástagos o levas. La sucesión de los movimientos y la selección de las trayectorias o los ángulos no son variables ni modificables por medios mecánicos, electrónicos ni eléctricos;

Mecanismos de manipulación en una sucesión variable y bajo control mecánico, que consisten en dispositivos móviles automatizados que funcionen de acuerdo con movimientos fijos programados definidos mecánicamente. El "programa" está limitado mecánicamente por medio de topes fijos, pero regulables, del tipo de vástagos o levas. La sucesión de los movimientos y la selección de las trayectorias o los ángulos pueden variar en el marco de la configuración fija programada. Las variaciones o modificaciones de la configuración programada (por ejemplo, el cambio de vástagos o de levas) en uno o varios ejes de movimiento se efectúan exclusivamente mediante operaciones
mecánicas;

Mecanismos de manipulación en una sucesión variable, sin servocontrol, que consisten en dispositivos móviles automatizados que funcionan con arreglo a movimientos fijos programados definidos mecánicamente. El "programa" puede variar, pero la sucesión sólo se efectúa en función de la señal binaria procedente de dispositivos binarios eléctricos fijos o de topes regulables definidos mecánicamente;

Grúas apiladoras, definidas como sistemas manipuladores que funcionen sobre coordenadas cartesianas, construidos como partes integrantes de un conjunto vertical de tolvas de almacenamiento y concebidos para tener acceso al contenido de esas tolvas, para su almacenamiento o recuperación;

En el rubro 51.5 d), la expresión "operadores terminales" hace referencia a pinzas, unidades para trabajo de herramientas activas y cualquier otro tipo de herramienta sujeta a la placa de base del extremo de un brazo manipulador de un robot;

En la definición anterior, "unidades para trabajo de herramientas activas" son dispositivos para aplicar fuerza motriz o energía de transformación a la pieza trabajada, o bien para detectar sus características.

e) Manipuladores a distancia que, por medios eléctricos, hidráulicos o mecánicos, transfieran mecánicamente las acciones de un operador humano a un brazo operativo y un accesorio terminal, que puedan utilizarse para

efectuar acciones a distancia en operaciones de separación radioquímica y celdas calientes, como se indica a continuación:

i) Que tengan la capacidad de penetrar un espesor de pared de la celda caliente de 0,6 m o más (funcionamiento "a través de la pared"); o

ii) Que tengan la capacidad de pasar por encima de la pared de una celda caliente de 0,6 m o más de espesor (funcionamiento "sobre la pared").

Nota técnica:

Los manipuladores a distancia sirven para trasladar las acciones de un operador humano a un brazo que opera a distancia y a un dispositivo terminal de fijación de las piezas manipuladas. La manipulación a distancia puede ser del tipo "maestro/subordinado" o efectuarse mediante una palanca de control o un teclado.

51.6 *Celdas calientes y equipo conexo especialmente concebidos o preparados para la manipulación y el tratamiento de material nuclear irradiado

Nota explicativa:

La separación química en pequeña escala de plutonio o uranio o ambos del material nuclear irradiado requiere la protección contra las radiaciones provenientes de la actividad gamma de los productos de fisión y la toxicidad de plutonio. Esta separación suele realizarse en celdas blindadas con plomo u hormigón especialmente concebidas o preparadas, dotadas de mirillas fabricadas de vidrio de alta densidad y manipuladores a distancia. La protección contra la toxicidad del plutonio se logra gracias al revestimiento interno estanco de la celda caliente que generalmente se fabrica de acero con bajo contenido de carbono. Las celdas calientes están dotadas de un sistema de extracción de aire capaz de mantener una ligera presión negativa y equipadas con filtros de partículas del aire de gran eficiencia que impiden el desprendimiento de aerosoles de la celda caliente en el medio.

Equipo industrial y máquinas herramientas

52. *Máquinas herramientas y unidades de control de las mismas

Nota:

En los párrafos 52 a 64 se enumeran tipos concretos de máquinas herramientas y equipo industrial.

52.1 *Máquinas para tornear, rectificar y fresar, que posean cualquiera de las características siguientes:

a) Manguitos portapiezas al vacío adecuados para sostener piezas hemisféricas;

b) Máquinas instaladas dentro de cajas de guantes o instalaciones de contención equivalentes;

c) Características a prueba de explosión.

52.2 Máquinas herramientas, como se indica a continuación, para mecanizar o cortar metales, materiales cerámicos o materiales mixtos, que, de conformidad con las especificaciones técnicas del fabricante, puedan dotarse de dispositivos electrónicos para el control simultáneo del contorneado en dos o más ejes:

a) Máquinas herramientas para tornear, rectificar, o fresar, o cualquier combinación de estas operaciones, que a la vez:

i) tengan dos o más ejes que puedan combinarse simultáneamente para el control del contorneado;

ii) posean cualquiera de las características siguientes:

A) dos o más ejes rotatorios de contorneado;

B) uno o más husillos basculantes de contorneado;

C) desplazamiento de leva (desplazamiento axial) en una revolución del husillo inferior a (mejor que) 0,0008 mm en la lectura del indicador total (TIR);

D) descentramiento (desplazamiento según el eje radial) en una revolución del husillo inferior a (mejor que) 0,0006 mm en la TIR, para máquinas de rectificar o fresar, y de 0,0008 mm en la TIR para máquinas de tornear;

E) precisiones de posición, con todas las compensaciones disponibles, inferiores a (mejores que):

I) 0,001° en cualquier eje rotatorio; o

II) la especificación que corresponda de entre las siguientes:

- 0,004 mm a lo largo de cualquier eje lineal (fijación global de la posición) para máquinas rectificadoras;
- 0,006 mm a lo largo de cualquier eje lineal (fijación global de la posición) para máquinas fresadoras;
- 0,010 mm a lo largo de cualquier eje lineal (fijación global de la posición) para máquinas de tornear;

F) Capaces de tornear o perforar diámetros iguales o superiores a 2 m;

b) Máquinas de electroerosión (EDM):

i) Del tipo de alimentación por alambre que tengan cinco o más ejes que puedan coordinarse simultáneamente para el control del contorneado;

ii) EDM de tipo distinto al de alambre que tengan dos o más ejes rotatorios de contorneado y que puedan coordinarse simultáneamente para el control del contorneado.

c) Otras máquinas herramientas para el mecanizado de materiales metálicos, cerámicos o mixtos, que reúnan las dos características siguientes:

i) mecanizar el material por cualquiera de los siguientes métodos:

A) chorros de agua o de otros líquidos, incluidos los que contienen aditivos abrasivos;

B) haces de electrones;

C) haces de láser;

ii) tener dos o más ejes rotatorios que posean las dos características siguientes:

A) que puedan coordinarse simultáneamente para el control del contorneado;

B) que tengan una precisión de posición inferior a (mejor que) 0,003°.

52.3 Unidades de control numérico para máquinas herramientas, como se indica a continuación:

a) Que posean más de cuatro ejes de interpolación que puedan coordinarse simultáneamente para el control del contorneado; o

b) Que posean dos, tres o cuatro ejes de interpolación que puedan coordinarse simultáneamente para el control del contorneado y que cumplan una o más de las siguientes condiciones:

i) capacidad de procesamiento de datos en tiempo real a fin de modificar la trayectoria de la herramienta durante la operación de mecanizado mediante cálculo y modificación automáticos de los datos del programa de pieza para mecanizar en dos o más ejes mediante ciclos de medición y acceso a los datos originales;

ii) capacidad de recibir directamente (en línea) y de procesar datos de diseño auxiliado por computadora (CAD) para la preparación interna de instrucciones de máquina;

iii) capacidad de aceptar consolas adicionales, sin modificación, de conformidad con las especificaciones técnicas del fabricante, que permitan aumentar el número de ejes de interpolación que pueden coordinarse simultáneamente para el control del contorneado, por encima de los niveles de control, incluso si no contienen estas consolas adicionales.

52.4 Consolas de control del movimiento especialmente concebidas para máquinas herramientas, que tengan una o más de las siguientes características:

a) Interpolación en más de cuatro ejes;

b) Capacidad de procesamiento de datos en tiempo real a fin de modificar la trayectoria de la herramienta durante la operación de mecanizado mediante cálculo y modificación automáticos de los datos del programa de pieza para mecanizar en dos o más ejes mediante ciclos de medición y acceso a los datos originales;

c) Capacidad de recibir y procesar datos de CAD para la preparación interna de instrucciones de máquina.

52.5 Programas lógicos

a) Programas lógicos especialmente concebidos o modificados para el desarrollo, la fabricación o la utilización del equipo especificado en los rubros 52.2, 52.3 ó 52.4;

b) Programas lógicos específicos, como se indica a continuación:

i) programas lógicos para el control adaptativo y que posean las dos características siguientes:

A) para unidades de fabricación flexibles (FMU) que consten, como mínimo, del equipo descrito en los rubros 52 y 54;

B) capaces de generar o modificar, en proceso en tiempo real, los datos del programa de pieza utilizando señales obtenidas simultáneamente por medio de dos técnicas de detección, a lo menos, como:

I) visión artificial (telemetría óptica);

II) formación de imágenes en la banda infrarroja;

III) formación de imágenes por ondas acústicas (telemetría acústica);

IV) mediciones táctiles;

V) fijación de posición inercial;

VI) dinamometría;

VII) torsiometría;

ii) programas lógicos para dispositivos electrónicos distintos de los especificados en los rubros 52.3 ó 52.4 que proporcionen una capacidad de control numérico equivalente a la del equipo especificado en el rubro 52.3.

52.6 Componentes y piezas para máquinas herramientas

Componentes y piezas para las máquinas herramientas incluidas en el rubro 52.2, como se indica a continuación:

a) Conjuntos de husillos, constituidos por husillos y cojinetes como conjunto mínimo, con movimiento del eje en una revolución del husillo radial (descentramiento) o axial (de desplazamiento de levas) inferior a (mejor que) 0,0008 mm en la TIR;

b) Unidades de realimentación de la posición lineal (por ejemplo, dispositivos de tipo inductivo, escalas graduadas, sistemas de láser o sistemas de rayos infrarrojos) que, con compensación, posean una precisión global superior a $800 + (600 \times L \times 10^{-3})$ nm, siendo L la longitud efectiva en milímetros de la medida lineal;

Nota:

El rubro 52.6 b) no incluye los sistemas de medición por interferometría, sin realimentación en bucle cerrado o abierto, que contengan un láser para medir

los errores de movimiento del carro de máquinas herramientas, máquinas de inspección dimensional o equipos análogos.

c) Unidades con realimentación de la posición rotatoria (por ejemplo, dispositivos de tipo inductivo, escalas graduadas, sistemas de láser o sistemas de rayos infrarrojos), que, con compensación, posean una precisión inferior a (mejor que) 0,00025° de arco;

Nota 1:

Los sistemas de medición por interferometría, sin realimentación en bucle cerrado o abierto, que contengan un láser para medir los errores de movimiento del carro de máquinas herramientas, máquinas de inspección dimensional o equipos análogos.

Nota 2:

El rubro 52.6 c) no incluye las máquinas de inspección dimensional. El párrafo 54 incluye las máquinas de inspección dimensional.

d) Conjuntos de guías de bancadas constituidos por un conjunto mínimo de guías, bancadas y correderas, que tengan todas las características siguientes:

i) guiñada, cabeceo o balanceo inferior a (mejor que) 2 segundos de arco en la TIR (Ref.: ISO 230-1) a lo largo de toda la trayectoria;

ii) rectilineidad horizontal inferior a (mejor que) 2 μm por cada 300 mm de longitud;

iii) rectilineidad vertical inferior a (mejor que) 2 μm a lo largo de toda la trayectoria por cada 300 mm de longitud.

e) Elementos para herramientas cortantes de diamante, de una sola punta, que tengan todas las características siguientes:

i) una arista de corte sin defectos y que no presente astilladuras cuando se aumente 400 veces en cualquier dirección;

ii) una desviación de la circularidad del radio de corte inferior a (mejor que) 0,002 mm en la TIR (también de máximo a máximo);

iii) un radio de corte entre 0,1 y 5,0 mm, ambos inclusive.

52.7 Componentes y subconjuntos

a) Especialmente concebidos, como se indica a continuación, capaces de perfeccionar, conforme a las especificaciones del fabricante, unidades de control numérico, consolas de control del movimiento, máquinas herramientas o dispositivos de realimentación a niveles iguales o superiores a los de los rubros 52.2, 52.3, 52.4, 52.6 b) y 52.6 c);

b) Mesas giratorias compuestas.

52.8 Tecnología

a) Tecnología para el desarrollo del equipo especificado en los rubros 52.2, 52.3, 52.4, 52.6 y 52.7;

b) Otros tipos de tecnología para alguno de los usos siguientes:

i) para la elaboración de gráficos interactivos como parte integrante de las unidades de control numérico para la preparación o modificación de los programas de piezas;

ii) para la elaboración de programas lógicos de integración destinada a incorporar sistemas especializados para la asistencia en decisiones de alcance superior a los trabajos a pie de máquina en las unidades de control numérico.

Nota técnica:

"Precisión"
Se mide normalmente en función de la imprecisión, que se define como la desviación máxima, positiva o negativa, de un valor indicado con respecto a una norma aceptada o un valor real.

"Control adaptativo"
Sistema de control que ajusta la respuesta en función de las condiciones observadas durante su funcionamiento (Ref.: ISO 2806-1980).

"Desplazamiento de leva" (desplazamiento axial)
Desplazamiento axial en una revolución del husillo principal medido en un plano perpendicular a la cara del husillo en un punto próximo a la circunferencia de la cara del husillo (Ref.: ISO 230 Part 1-1986, párr. 5.63).

"Mesa giratoria compuesta"
Mesa que permite rotar e inclinar la pieza de trabajo en torno a dos ejes no paralelos, los cuales pueden coordinarse simultáneamente para el control del contorneado.

"Control del contorneado"
Serie de dos o más movimientos controlados numéricamente que se ejecutan siguiendo instrucciones que especifican la siguiente posición requerida y las velocidades de avances necesarias para alcanzar esa posición. Esas velocidades varían unas con respecto a otras con el fin de obtener el contorno deseado (Ref.: ISO 2806-1980).

"Computadora digital"
Equipo que, en forma de una o más variables discretas, puede:

i) Aceptar datos;

ii) Almacenar datos o instrucciones en dispositivos de almacenamiento fijos o alterables (por inscripción);

iii) Procesar datos mediante una sucesión modificable de instrucciones almacenadas;

iv) Proporcionar datos de salida.

N.B.: Las modificaciones de una sucesión de instrucciones almacenadas incluyen la sustitución de dispositivos fijos de memoria, pero no cambios físicos en los cables o las interconexiones.

“Unidad de fabricación flexible”
Entidad que comprende una combinación, por lo menos, de:

i) Una computadora digital con su propia memoria principal y el material conexo propio;

ii) Dos o más de las máquinas descritas en los párrafos 52, 53, 54 y 55.

N.B.: La “unidad de fabricación flexible” (FMU) se conoce a veces también como “sistema de fabricación flexible” (FMS) o “célula de fabricación flexible” (FMC).

“Láser”
Conjunto de componentes que producen luz coherente amplificada por emisión estimulada de radiación.

“Memoria principal”
La unidad principal de almacenamiento de datos o instrucciones para el acceso rápido por parte de una unidad central de procesamiento, constituida por la memoria interna de una computadora digital y cualquier extensión jerárquica de la misma, como una memoria de almacenamiento temporal o una ampliación de memoria de acceso no lineal.

“Microprograma”
Sucesión de instrucciones elementales, almacenadas en una memoria especial, cuya ejecución se inicia gracias a la introducción de su instrucción de referencia en un registro de instrucciones.

“Consola de control del movimiento”
Sistema electrónico especialmente concebido para permitir a un sistema informático coordinar simultáneamente el movimiento de los ejes de máquinas herramientas, para el control del contorneado.

“Control numérico”
Control automático de un proceso realizado por un dispositivo que interpreta datos numéricos que por lo general se introducen a medida que avanza la operación (Ref.: ISO 2382).

“Programa de pieza”
Conjunto ordenado de instrucciones en el lenguaje y el formato necesarios para que se lleven a cabo operaciones bajo control automático, ya sea escrito en forma de un programa de máquina o en un medio de introducción de datos, o preparado como datos de entrada a partir de los cuales se obtendrá un programa de máquina mediante el procesamiento en una computadora (Ref.: ISO 2806-1980).

“Precisión de posición”
La “precisión de posición” de las máquinas herramientas de control numérico se determinará y presentará de conformidad con los requisitos que se indican a continuación:

i) Condiciones del ensayo (ISO 230/2, párr. 3):

a) Durante 12 horas antes de las mediciones y en el transcurso de éstas, la máquina herramienta y los equipos de

determinación de la precisión se mantendrán a la misma temperatura ambiente. Durante el tiempo que precede a las mediciones, los carros de la máquina efectuarán ciclos de manera continua de la misma manera que durante la determinación de la precisión;

b) La máquina estará dotada de cualquier compensación mecánica, electrónica o por programas lógicos que se haya de exportar con ella;

c) La precisión de los equipos de medida deberá ser, por lo menos, cuatro veces superior a la que se espera obtener de la máquina herramienta;

d) La alimentación de electricidad a los sistemas de accionamiento de los carros deberá cumplir las condiciones siguientes:

A) La variación de la tensión de la red no será superior a ± 0% de la atención normal;

B) La variación de la frecuencia no será superior a ± 2 Hz de la frecuencia normal;

C) No se permiten interrupciones del servicio.

ii) Programa de ensayo (ISO 230/2, párr. 4):

a) La velocidad de avance (velocidad de los carros) durante la medición será la velocidad transversal rápida;

N.B:. En el caso de máquinas herramientas que produzcan superficies de calidad óptica, la velocidad de avance será igual o inferior a 50 mm por minuto;

b) Las mediciones se efectuarán por incrementos desde un límite del desplazamiento del eje hasta el otro, sin regresar a la posición de partida, por cada movimiento a la posición deseada;

c) Durante el ensayo de un eje, los ejes que no se han de medir se retendrán a mitad de carrera;

iii) Presentación de los resultados del ensayo (ISO/DIS/230/2, párr. 2): los resultados de las mediciones deben incluir:

a) la precisión de posición;

b) el error de inversión medio.

"Programa"
Sucesión de instrucciones para llevar a cabo un proceso en forma ejecutable por una computadora electrónica, o convertible en dicha forma.

"Procesamiento en tiempo real"
Procesamiento de datos por una computadora electrónica en respuesta a un fenómeno externo de acuerdo con las limitaciones temporales que imponga dicho fenómeno.

"Robot"
Mecanismo de manipulación, que puede ser del tipo de funcionamiento sobre una trayectoria continua o del tipo punto a punto, que puede utilizar sensores y que reúne todas las características siguientes:

i) estar dotado de funciones múltiples;

ii) ser capaz de ubicar u orientar materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales mediante movimientos variables en un espacio tridimensional;

iii) contar con tres o más servomecanismos de bucle cerrado o abierto con la posible inclusión de motores paso a paso;

iv) dar al usuario la capacidad de programarlo mediante el método del aprendizaje/repetición o mediante una computadora electrónica que puede actuar como controlador lógico programable, es decir, sin intervención mecánica.

N.B.: La definición anterior no abarca los dispositivos siguientes:

a) Mecanismos de manipulación que sólo se controlen de forma manual o por operador a distancia;

b) Mecanismos de manipulación en una sucesión fija que consistan en dispositivos móviles automatizados que funcionen de acuerdo con movimientos programados, definidos mecánicamente. El programa está limitado mecánicamente por medio de topes fijos, como vástagos o levas. La sucesión de los movimientos y la selección de las trayectorias o los ángulos no son variables ni modificables por medios mecánicos, electrónicos ni eléctricos;

c) Mecanismos de manipulación en una sucesión variable y bajo control mecánico, que consisten en dispositivos móviles automatizados que funcionen de acuerdo con movimientos fijos programados definidos mecánicamente. El programa está limitado mecánicamente por medio de topes fijos, pero regulables, del tipo de vástagos o levas. La sucesión de los movimientos y la selección de las trayectorias o los ángulos pueden variar en el marco de la configuración fija programada. Las variaciones o modificaciones de la configuración programada (por ejemplo, el cambio de vástagos o de levas) en uno o varios ejes de movimiento se efectúan exclusivamente mediante operaciones mecánicas;

d) Mecanismos de manipulación en una sucesión variable, sin servocontrol, que consisten en dispositivos móviles automatizados que funcionen de acuerdo con movimientos fijos programados definidos mecánicamente. El programa puede variar, pero la sucesión sólo se efectúa en función de la señal binaria procedente de dispositivos binarios eléctricos fijos o de topes regulables definidos mecánicamente;

e) Grúas apiladoras, definidas como sistemas manipuladores que funcionen sobre coordenadas cartesianas, construidos como partes integrantes de un conjunto vertical de tolvas de almacenamiento y

concebidos para tener acceso al contenido de esas tolvas, para su almacenamiento o recuperación;

f) Robots especialmente concebidos para aplicaciones industriales no nucleares, como cabinas de pintado de automóviles por atomización.

"Operador terminal"
Los operadores terminales comprenden pinzas, unidades para trabajo de herramientas activas y cualquier otro tipo de herramienta sujeta a la placa de base del extremo de un brazo manipulador de un robot.

"Descentramiento"
Desplazamiento radial en una revolución del husillo principal, medido en un plano perpendicular al eje del husillo en un punto situado sobre la superficie de revolución externa o interna que es objeto del ensayo (Ref.: ISO 230, parte 1-1986, párr. 5.61).

"Sensores"
Detectores de un fenómeno físico, cuya salida (tras la conversión en una señal que puede ser interpretada por un controlador) puede generar programas o modificar instrucciones programadas o datos numéricos del programa. Esto incluye sensores con visión artificial, formación de imágenes por rayos infrarrojos, formación de imágenes por ondas acústicas, sensibilidad táctil, medición de la posición inercial, telemetría óptica o acústica o capacidad dinamométrica o torsiométrica.

"Programa lógico"
Una colección de uno o más programas o microprogramas montados en cualquier medio tangible de expresión.

"Husillo basculante"
Husillo portaherramientas que modifica, durante el proceso de mecanizado, la posición angular de su eje de referencia con respecto a cualquier otro eje.

"Programabilidad accesible al usuario"
Posibilidad de que el usuario inserte, modifique o sustituya programas por medios que no sean:

i) un cambio físico en los cables o en las interconexiones;

ii) fijación de controles de función, incluida la introducción de parámetros.

53. Máquinas de conformación por rotación y de conformación por estirado

Máquinas de conformación por estirado y de conformación por rotación capaces de realizar funciones de conformación por estirado, y sus mandriles, como se indica a continuación:

53.1 Máquinas que posean *las dos* características siguientes:

a) Tres o más rodillos (activos o de guía);

b) De acuerdo con la especificación técnica del fabricante, puedan estar dotadas de unidades de control numérico o control por computadora.

53.2 Mandriles para conformación de rotores concebidas para conformar rotores cilíndricos de diámetro interior entre 75 mm y 400 mm

Nota:

El párrafo 53.1 no incluye las máquinas que sólo tengan un único rodillo concebido para deformar el metal además de dos rodillos auxiliares que sostienen el mandril pero no participan directamente en el proceso de deformación.

54. Máquinas de inspección dimensional

Máquinas, dispositivos o sistemas de inspección dimensional, como se indica a continuación, y programas lógicos especialmente concebidos para aquéllos.

54.1 Máquinas de inspección dimensional, controladas por computadora o con control numérico, que tengan las dos características siguientes:

a) Dos o más ejes;

b) Una incertidumbre de medición de la longitud unidimensional igual o inferior a (mejor que) (6 $\pm$ L/1.000) µm (siendo L la longitud medida en milímetros) (referencia: VDI/VDE 2.617, partes 1 y 2).

54.2 Instrumentos de medida de desplazamiento lineal y angular, como se indica a continuación:

a) Instrumentos de medida lineal que posean una de las siguientes características:

i) Sistemas de medida del tipo sin contacto con una "resolución" igual o inferior a (mejor que) 0,2 µm, dentro de una gama de medición de hasta 0,2 mm;

ii) Sistemas de transformador diferencial variable lineal (LVDT) que tengan *las dos* características siguientes:

A) Linealidad igual o inferior a (mejor que) el 0,1%, dentro de una gama de medición de hasta 5 mm;

B) Variación igual o inferior (mejor que) el 0,1% por día a la temperatura ambiente normal de ensayo $\pm$ 1 K; o

iii) Sistemas de medición que tengan *las dos* características siguientes:

A) Incluir un láser;

B) Capaces de mantener durante 12 horas como mínimo, dentro de una variación de temperatura de $\pm$ 1 K en torno a una temperatura y una presión estándares:

I) Una resolución a lo largo de toda la escala igual a 0,1 µm o mejor;

II) Una “incertidumbre de medición” igual o inferior a (mejor que) (0,2 + L/2.000) µm (siendo L la longitud medida en milímetros);

Nota:

El rubro 54.2 a) iii) no incluye los sistemas de medida interferométrica, sin realimentación en bucle cerrado o abierto, que contengan un láser para medir los errores de movimiento del carro de máquinas herramientas, máquinas de inspección dimensional o equipos análogos.

b) Instrumentos de medición angular que tengan una desviación de la posición angular igual o inferior a (mejor que) 0,00025°;

Nota:

Este rubro no comprende instrumentos ópticos, como autocolimadores, que empleen luz colimada para registrar el desplazamiento angular de un espejo.

c) Sistemas para la verificación lineal-angular simultánea de semicascos, que reúnan *las dos* características siguientes:

i) “Incertidumbre de medición” a lo largo de cualquier eje lineal igual o inferior a (mejor que) 3,5 µm por cada 5 mm;

ii) Desviación de la posición angular igual o inferior a 0,02°.

Nota:

Los programas lógicos especialmente concebidos para los sistemas descritos en el párrafo 54.2 c) incluyen los programas lógicos para la medición simultánea del espesor y el contorno de las paredes.

Nota técnica 1:

Las máquinas herramientas que pueden utilizarse como máquinas de medición quedan incluidas en este párrafo si cumplen o superan los criterios especificados para la función de máquina herramienta o para la función de máquina de medición.

Nota técnica 2:

Las máquinas descritas en el párrafo 54 están sujetas a supervisión si exceden el umbral de control en algún punto de su gama de funcionamiento.

Nota técnica 3:

La sonda que se utilice para determinar la “incertidumbre de medición” de un sistema de inspección dimensional corresponderá a la descrita en la norma VDI/VDE 2617, partes 2, 3 y 4.

Nota técnica 4:

Todos los parámetros de los valores de medida en este rubro representan variaciones en sentido positivo o negativo, es decir, no la totalidad de la banda.

“Incertidumbre de medición”

El parámetro característico que especifica en qué gama en torno al valor resultante se sitúa, con un nivel de confianza del 95%, el valor correcto de la variable que se trata de medir. Incluye las desviaciones sistemáticas no corregidas, el juego no corregido y las desviaciones aleatorias (Referencia: VDI/VDE 2617).

"Resolución"
El incremento más pequeño de un dispositivo de medición; en los instrumentos digitales, el bitio menos significativo (Referencia: ANSI B-89.1.12).

"Linealidad"
(Habitualmente se determina en función de la no linealidad). Es la desviación máxima de la característica real (media de las lecturas en sentido ascendente y descendente de la escala), positiva o negativa, con respecto a una línea recta situada de modo que se igualen y se reduzcan al mínimo las desviaciones máximas.

"Desviación de la posición angular"
La diferencia máxima entre la posición angular y la posición angular real, medida con gran precisión, después de que el portapieza de la mesa se haya desplazado con respecto a su posición inicial (Referencia: VDI/VDE 2617. Borrador: "Rotary table on coordinate measuring machines").

55. Prensas isostáticas (en frío y en caliente)

"Prensas isostáticas" y equipo conexo, como se indica a continuación:

55.1 "Prensas isostáticas" que tengan las dos características siguientes:

a) Capaces de lograr una presión de funcionamiento máxima de 69 MPa o superior;

b) Que tengan una cámara de diámetro interior superior a 152 mm.

55.2 Matrices, moldes y controles especialmente concebidos para las "prensas isostáticas" descritas en el párrafo 55.1

Nota técnica 1:
En el párrafo 55, la expresión "prensas isostáticas" designa el equipo capaz de someter a presión una cavidad cerrada por diversos medios (gas, líquido, partículas sólidas, etc.), en modo de crear igual presión en todas las direcciones dentro de la cavidad sobre una pieza de trabajo de un cierto material.

Nota técnica 2:
En el párrafo 55, la dimensión de la cámara interior corresponde a la de la cámara en la que se alcanzan tanto la temperatura de funcionamiento como la presión de funcionamiento, sin incluir los accesorios. Esa dimensión es el valor menor entre el diámetro interior de la cámara de presión y el diámetro interior de la cámara aislada del horno, según cuál de las dos cámaras esté colocada dentro de la otra.

56. *Equipos de fabricación y ensamblado de rotores

56.1 *Equipo de ensamblado de rotores para ensamblar secciones de tubos de rotor, diafragmas y tapones

Nota:

El párrafo 56.1 incluye los mandriles de precisión, abrazaderas y máquinas de ajuste.

56.2 *Equipos de rectificación de rotores para el alineamiento de las secciones de los tubos de rotor a un eje común

Nota:

Normalmente, estos equipos consistirán en probetas de medición de precisión conectadas a una computadora que, posteriormente, controlan la acción, por ejemplo, de arietes neumáticos que se utilizan para alinear las secciones de los tubos de rotor.

56.3 *Mandriles y matrices para la conformación de fuelles, para la fabricación de fuelles de forma convolutiva

Nota técnica:

Los fuelles a los que hace referencia el párrafo 56.3 tienen todas las características siguientes:

i) Diámetro interior entre 75 mm y 400 mm;

ii) Longitud igual o superior a 12,7 mm;

iii) Paso superior de las convoluciones superior a 2 mm;

iv) Fabricados de aleaciones de aluminio de gran tenacidad, acero al níquel con bajo contenido de carbono o "materiales fibrosos o filamentosos" de gran tenacidad.

57. *Máquinas de balanceo de centrífugas

Máquinas de balanceo de centrífugas de planos múltiples, fijas o móviles, horizontales o verticales, como se indica a continuación, y programas lógicos especialmente concebidos para las mismas:

57.1 *Máquinas de balanceo de centrífugas concebidas para balancear rotores flexibles, de una longitud de 400 mm o más, y que tengan todas las características siguientes:

a) Un diámetro de chumacera o diámetro admisible con oscilación igual o superior a 75 mm;

b) Capacidad para masas entre 0,9 y 23 kg;

c) Capacidad de alcanzar velocidades de revolución de balanceo superiores a 5.000 rpm.

57.2 *Máquinas de balanceo de centrífugas concebidas para balancear componentes de rotores cilíndricos huecos y que tengan todas las características siguientes:

a) Un diámetro de chumacera igual o superior a 75 mm;

b) Capacidad de masas entre 0,9 y 23 kg;

c) Capacidad de balanceo con un descentrado residual de 0,010 kg mm/kg por plano o mejor;

d) El tipo accionado por correa.

58. *Máquinas devanadoras de materiales fibrosos y filamentosos y equipo conexo

58.1 *Máquinas devanadoras de filamentos que reúnan todas las características siguientes:

a) Que los movimientos para colocar, enrollar y devanar las fibras se coordinen y programen en dos o más ejes;

b) Con capacidad de elaborar estructuras de materiales mixtos o laminados a partir de "materiales fibrosos o filamentosos";

c) Con capacidad de devanar rotores cilíndricos de diámetro entre 75 mm y 400 mm y longitudes de 400 mm o más.

58.2 *Controles de coordinación y programación para las máquinas descritas en el párrafo 58.1

58.3 *Mandriles para las máquinas descritas en el párrafo 58.1

59. Máquinas de soldadura por haz de electrones

Máquinas de soldadura por haz de electrones con una cámara de 0,5 m^3 o más.

60. Sistemas de aspersión de plasma

Sistemas de aspersión de plasma, atmosféricos o al vacío.

61. Hornos de oxidación

Hornos de oxidación al vacío que posean todas las características siguientes:

a) Que tengan una fuente de vapor capaz de introducir vapor ligeramente sobrecalentado por la parte inferior del horno a una velocidad controlada;

b) Capaces de contener una retorta de diámetro de trabajo de 600 mm o más y una altura de trabajo de 1.200 mm o más;

c) Que tengan un calefactor radiante para calentar uniformemente la retorta a temperatura de 673 K (400° C) o más.

Nota técnica:

Los hornos de oxidación se utilizan para depositar en forma controlada una capa de óxido en la superficie de los componentes de centrífugas fabricados de acero al níquel con bajo contenido de carbono.

62. *Hornos de alta temperatura

62.1 *Hornos de inducción al vacío o de ambiente controlado (gas inerte) y sus fuentes de alimentación, como se indica a continuación:

a) Hornos que reúnan todas las características siguientes:

i) Capaces de funcionar a más de 1.123 K (850° C);

ii) Con bobinas de inducción de 600 mm o menos de diámetro;

iii) Concebidos para un suministro de potencia de 5 kW o más.

Nota técnica:

El párrafo 62.1 a) no prohíbe los hornos concebidos para el tratamiento de obleas de semiconductores. Dichos hornos, sin embargo, están sujetos a supervisión por el OIEA.

b) Fuentes de alimentación especialmente concebidas para los hornos descritos en el párrafo 63.1 a), con suministro de potencia de 5 kW o más.

62.2 *Hornos metalúrgicos de fundición y de colada, al vacío o de ambiente controlado, y equipo conexo, como se indica a continuación:

a) Hornos de refundición y colada al arco, que posean *las dos* características siguientes:

i) Con electrodos fungibles de capacidad entre 1.000 cm^3 y 20.000 cm^3;

ii) Capaces de funcionar a temperaturas de fusión superiores a 1.973 K (1.700° C);

b) Hornos de fundición por haz de electrones y hornos de atomización por plasma y fundición, que posean *las dos* características siguientes:

i) Con una potencia igual o superior a 50 kW;

ii) Capaces de funcionar a temperaturas de fusión superiores a 1.473 K (1.200° C);

c) Sistemas de supervisión y control por computadora especialmente configurados para cual quiera de los hornos descritos en los rubros 62.2 a) ó 62.2 b).

63. Equipo para ensayos a las vibraciones

Sistemas, equipo y componentes para ensayos a las vibraciones y programas lógicos para aquéllos, como se indica a continuación:

63.1 Sistemas electrodinámicos para ensayos a las vibraciones, que reúnan todas las características siguientes:

a) Que utilicen técnicas de control por realimentación o bucle cerrado y que incorporen un controlador digital;

b) Capaces de someter un sistema a vibraciones de 10 g RMS o más dentro de la gama de 20 Hz a 2.000 Hz;

c) Capaces de impartir fuerzas de 50 kN, medidas en "tabla rasa", o más.

63.2 Controladores digitales, combinados con "programas lógicos especialmente concebidos" para los ensayos a la vibración, con ancho de banda en tiempo real superior a 5 kHz, y concebidos para su uso con los sistemas especificados en el rubro 63.1

63.3 Impulsores de vibración (unidades agitadoras), con amplificadores vinculados o sin éstos, capaces de impartir una fuerza de 50 kN, medida en "tabla rasa", o superior, que sean utilizables para los sistemas especificados en el rubro 63.1

63.4 Estructuras de sostén de las piezas de ensayo y unidades electrónicas concebidas para combinar unidades agitadoras múltiples en un sistema agitador completo, capaz de impartir una fuerza combinada efectiva de 50 kN, medida en "tabla rasa", o superior, que sean utilizables en los sistemas especificados en el rubro 63.1

Nota explicativa:

La expresión "tabla rasa" se refiere a una tabla o superficie plana sin fijación ni encaje de elemento alguno.

63.5 "Programas lógicos especialmente concebidos" para su utilización con los sistemas descritos en el párrafo 63.1 o para las unidades electrónicas descritas en el párrafo 63.4

Equipo de desarrollo de sistemas de implosión

64. *Equipo especializado para experimentos hidrodinámicos

64.1 *Interferómetros de velocidad para medir velocidades superiores a 1 km por segundo durante intervalos de tiempo inferiores a 10 μs

Nota:

El párrafo 64.1 incluye interferómetros de velocidad como los del tipo VISAR (sistemas de interferometría de velocidad para cualquier reflector) y DLI (interferómetros de láser por efecto Doppler).

64.2 *Manómetros de manganina para presiones superiores a 10 GPa

64.3 *Transductores de presión de cuarzo para presiones superiores a 10 GPa

64.4 *Semiesferas de pasador

64.5 *Sistemas Schlieren para medir las variaciones de densidad durante una explosión.

64.6 *Transductores de presión capaces de medir presiones absolutas en cualquier punto del intervalo comprendido entre 0 y 13 kPa y que posean *las dos* características siguientes:

a) Detectores de presión fabricados o protegidos con aluminio, aleación de aluminio, níquel o aleación de níquel con más del 60% de níquel en peso;

b) Con una de las características siguientes:

i) Una escala completa de menos de 13 kPa y una "precisión" mejor que ± 1% de la escala completa; *o*

ii) Una escala completa de 13 kPa o superior y una "precisión" mejor que ± 130 Pa.

Notas técnicas:

En el párrafo 64.6, los transductores de presión son dispositivos que convierten las medidas de la presión en una señal eléctrica.

En el párrafo 64.6, la expresión "precisión" incluye la no linealidad, la histéresis y la repetibilidad a temperatura ambiente.

65. Equipo de rayos X de destello

Generadores de rayos X de descarga por destello o aceleradores por impulso de electrones, que posean uno de los siguientes conjuntos de características:

a) Conjunto 1

i) Con energía máxima de aceleración de los electrones igual o superior a 500 keV, pero inferior a 25 MeV;

ii) Con un factor de mérito (K) igual o superior a 0,25;

b) Conjunto 2

i) Con energía máxima de aceleración de los electrones igual o superior a 25 MeV;

ii) Con una potencia máxima superior a 50 MW.

Nota técnica:

El factor de mérito K se define como:

$K = 1{,}7 \times 10^{3} V^{2{,}65} Q$

en que V es la energía máxima de los electrones en millones de electronvoltios (MeV) y Q es la carga acelerada total en culombios, si la duración del impulso del haz del acelerador no es superior a 1 μs. Si la duración del impulso del haz acelerador es superior a 1 μs, Q es la carga máxima acelerada en 1 μs. Q es igual a la integral de i con respecto a t, a lo largo de 1 μs o la duración del impulso del haz, si ésta es inferior ($Q = \int i dt$), en que i es la intensidad de corriente del haz en amperios y t el tiempo en segundos.

Potencia máxima = (potencial máximo en voltios) x (corriente máxima del haz en amperios).

En las máquinas basadas en cavidades aceleradoras de microondas, la duración del impulso del haz es el valor inferior de 1 μs o la duración del paquete de haz agrupado que resulta de un impulso modulador de microondas.

En las máquinas basadas en cavidades aceleradoras de microondas, la corriente máxima del haz es la corriente media a lo largo de la duración de un paquete agrupado del haz.

66. *Sistemas de cañones

Cañones de gas de etapas múltiples u otros sistemas de cañones de alta velocidad (de bobina, electromagnéticos, electrotérmicos u otros sistemas avanzados), capaces de acelerar proyectiles a una velocidad de 2 km por segundo o más.

67. *Cámaras mecánicas de espejo giratorio

Cámaras mecánicas de espejo giratorio, como se indica a continuación, y sus componentes especialmente concebidos:

67.1 *Cámaras mecánicas de imágenes múltiples con velocidades de lectura superiores a 225.000 imágenes por segundo

67.2 Cámaras de imagen unidimensional con velocidades de registro superiores a 0,5 mm/μs

Nota:

En el párrafo 67, los componentes de las cámaras incluyen los dispositivos electrónicos de sincronización y los conjuntos de rotor consistentes en turbinas, espejos y cojinetes.

68. *Cámaras de imagen unidimensional e imágenes múltiples y sus componentes

68.1 *Cámaras electrónicas de imagen unidimensional capaces de lograr una resolución temporal de 50 ns o menos

68.2 *Tubos de imagen unidimensional para las cámaras descritas en el párrafo 68.1 *supra*

68.3 *Cámaras de imágenes múltiples electrónicas (o de obturación electrónica) capaces de lograr un tiempo de exposición de 50 ns o menos por imagen, incluidas cámaras de una sola imagen

68.4 *Tubos de imágenes múltiples y dispositivos de formación de imágenes de estado sólido para su utilización con las cámaras especificadas en el rubro 68.3 *supra*, como se indica a continuación:

a) Tubos intensificadores de imagen enfocada por proximidad con el fotocátodo depositado sobre un revestimiento conductor transparente para disminuir la resistencia de la lámina del fotocátodo;

b) Tubos vidicon de intensificación del objetivo por compuerta de silicio (SIT), en los que un sistema rápido permite conmutar selectivamente los fotoelectrones del fotocátodo antes de que incidan sobre la placa SIT;

c) Dispositivos obturadores electroópticos, con célula de Kerr o de Pockel;

d) Otros tubos de imágenes múltiples y dispositivos de formación de imágenes por estado sólido con un tiempo de conmutación para imágenes rápidas inferior a 50 ns, especialmente concebidas para las cámaras especificadas en el párrafo 68.3.

68.5 *Módulos o conjuntos electrónicos (por ejemplo, tomas de corriente) concebidos para su uso con cámaras de instrumentación y que permitan obtener los rendimientos especificados en 68.1 y 68.3

68.6 *Dispositivos de formación de imágenes por estado sólido con una superficie de 40 cm^2 o más y una eficiencia cuántica superior al 50%

69. Computadoras digitales electrónicas

Computadoras digitales electrónicas y microprocesadores con un rendimiento teórico total (CTP) de más de 28.000 millones de operaciones teóricas por segundo (Mtops)

Nota 1:

Este párrafo no incluye los bloques paralelos, incluso los montados a partir de tecnología de redes no accesible a través de los circuitos comerciales ordinarios, capaces de alcanzar un nivel de rendimiento agregado superior a los 28.000 Mtops.

Nota 2:

Este párrafo no incluye las computadoras esenciales para aplicaciones médicas y que estén incorporadas en equipos o sistemas concebidos o modificados para aplicaciones médicas identificables especializadas. No obstante, el equipo que contenga computadoras que reúnan o superen las características arriba mencionadas está sujeto a supervisión por el OIEA.

70. *Códigos de computadora para explosivos nucleares

Códigos de hidrodinámica, códigos neutrónicos, códigos de transporte de fotones y/o archivos de datos sobre ecuaciones de estado y datos nucleares conexos y de opacidad utilizables en el cálculo de armas de implosión o del tipo cañón.

Nota:

Estos elementos comprenden programas lógicos, ecuaciones o datos en cualquier formato, utilizables para el cálculo de armas de implosión o del tipo cañón.

71. Detonadores y sistemas de iniciación de puntos múltiples

71.1. Detonadores accionados eléctricamente, como se indica a continuación:

a) Del tipo puente explosivo (EB);

b) Del tipo puente explosivo con filamento metálico (EBW);

c) De percutor;

d) Iniciadores de laminilla (EFI).

Nota:

El párrafo 71.1 no incluye los detonadores que utilizan únicamente explosivos primarios, tales como la azida de plomo.

Nota técnica:

Todos los detonadores en cuestión utilizan un pequeño conductor eléctrico (de puente, de puente con filamento metálico o de laminilla) que se vaporiza en forma explosiva cuando lo atraviesa un rápido impulso eléctrico de intensidad elevada. En los tipos que no son de percutor, el conductor inicia, al explotar, una detonación química en un material explosivo de gran potencia en contacto con él, como el PETN (tetranitrato de pentaeritrita). En los detonadores de percusión, la vaporización explosiva del conductor eléctrico hace saltar a un elemento "volador" o "percutor" a través de un espacio y el impacto de este elemento sobre el explosivo inicia una detonación química. En algunos modelos, el percutor es accionado por una fuerza magnética. El término "detonador de laminilla" puede referirse a un detonador EB o a un detonador de tipo percutor. Asimismo, a veces se utiliza el término "iniciador" en lugar de "detonador".

71.2. Mecanismos que empleen detonadores únicos o múltiples concebidos para iniciar casi simultáneamente una superficie explosiva (de más de 5.000 mm^2) a partir de una sola señal de detonación (con un tiempo de iniciación distribuido por la superficie de menos de 2,5 µs).

71.3 Detonadores inmediatos accionados ópticamente.

Nota técnica:

Estos detonadores reciben a veces la denominación de "percutores de láser". Los detonadores actúan mediante una luz de láser que evapora la superficie de un volador o percutor, generando un plasma que hace saltar el volador a través de un espacio.

72. *Lentes explosivas

Lentes explosivas concebidas para iniciar uniformemente la detonación de la superficie de una carga de explosivo de gran potencia.

73. *Conjuntos de detonación y generadores de impulsos de intensidad elevada

73.1 *Conjuntos de ignición de detonador explosivo concebidos para accionar los detonadores de control múltiple incluidos en el párrafo 71 *supra*

73.2 Generadores modulares de impulsos eléctricos (pulsadores), que reúnan todas las características siguientes:

a) Concebidos para uso portátil o móvil o que ofrezcan gran resistencia;

b) Encerrados en un receptáculo estanco al polvo;

c) Con capacidad para suministrar su energía en menos de 15 µs;

d) Con una corriente de salida superior a 100 A;

e) Con un tiempo de subida inferior a 10 µs en cargas menores de 40 ohmios.

Nota 1:

El tiempo de subida se define como el intervalo de tiempo comprendido entre el momento en que se alcance el 10% y el correspondiente al 90% de la amplitud de corriente cuando se acciona una carga resistiva.

Nota 2:

El rubro 73.2 e) incluye los accionadores de lámparas de destello de xenón.

f) Ninguna dimensión superior a 25,4 cm;

g) Peso inferior a 25 kg;

h) Previstos para utilizarse en una amplia gama de temperaturas comprendida entre los 223 y los 373 K (-50°C a 100°C) o especificados como adecuados para uso aeroespacial.

74. Dispositivos de conmutación

74.1 Tubos de cátodo frío (incluidos los tubos Krytron de gas y los tubos Sprytron de vacío), llenos de gas o no, de funcionamiento análogo a un espinterómetro, y que posean todas las características siguientes:

a) Que contengan tres o más electrodos;

b) Tensión máxima anódica nominal de 2.500 V o más;

c) Intensidad de corriente máxima anódica nominal de 100 A o más;

d) Tiempo de retardo anódico de 10 μs o menos.

74.2 Espinterómetros con excitación que posean *las dos* características siguientes:

a) Con un tiempo de retardo anódico de 15 μs o menos;

b) Especificados para una intensidad de corriente máxima nominal de 500 A o más.

74.3 Módulos o conjuntos con una función de conmutación rápida que tengan todas las características siguientes:

a) Tensión máxima anódica nominal superior a 2.000 V;

b) Intensidad de corriente máxima anódica nominal de 500 A o más;

c) Tiempo de encendido de 1 μs o menos.

75. Condensadores de descarga por impulsos

Condensadores de descarga por impulsos, con cualquiera de los siguientes conjuntos de características:

75.1 Conjunto 1:

a) Voltaje nominal superior a 1,4 kV;

b) Capacidad de almacenamiento de energía superior a 10 J;

c) Capacitancia superior a 0,5 μF;

d) Inductancia en serie inferior a 50 nH.

75.2 Conjunto 2:

a) Voltaje nominal superior a 750 V;

b) Capacitancia superior a 0,25 μF;

c) Inductancia en serie inferior a 10 nH.

76. Explosivos detonantes

Sustancias o mezclas explosivas de gran potencia, que contengan cualquiera de los elementos siguientes:

76.1 Ciclotetrametilentetranitroamina (HMX);

76.2 Ciclotrimetilentrinitroamina (RDX);

76.3 Triaminotrinitrobenceno (TATB);

76.4 Hexanitroestilbeno (HNS), excepto si está contenido en productos farmacéuticos;

76.5 Cualquier explosivo con densidad cristalina superior a 1,8 g/cm^3 y que tenga una velocidad de detonación superior a 8.000 m/s;

76.6 Tetranitrato de pentaeritrita (PETN); excepto si está contenido en productos farmacéuticos.

Otros equipos

77. *Crisoles

77.1 *Crisoles fabricados o recubiertos de cualquiera de los materiales siguientes:

a) Fluoruro de calcio (CaF_2);

b) Circonato (metacirconato) de calcio ($CaZrO_3$);

c) Sulfuro de cerio (Ce_2S_3);

d) Óxido de erbio (erbia) (Er_2O_3);

e) Óxido de hafnio (hafnia) (HfO_2);

f) Óxido de magnesio (MgO);

g) Aleación nitrurada de niobio-titanio-tungsteno (aproximadamente 50% de Nb, 30% de Ti, 20% de W);

h) Óxido de itrio (itria) (Y_2O_3); o

i) Óxido de circonio (circonia) (ZrO_2);

77.2 *Crisoles fabricados o revestidos de tántalo, con una pureza igual o superior al 99,9% en peso

77.3 *Crisoles que posean las dos características siguientes:

a) Fabricados o revestidos de tántalo, con una pureza igual o superior al 98% en peso;

b) Recubiertos de carburo, nitruro o boruro de tántalo, o cualquier combinación de éstos.

78. Sistemas generadores de neutrones

78.1 *Sistemas generadores de neutrones, incluidos tubos, que posean las dos características siguientes:

a) Concebidos para funcionar sin un sistema de vacío externo;

b) Que utilicen aceleración electrostática para inducir una reacción nuclear deuterio-deuterio o tritio-deuterio.

78.2 Sistemas generadores de neutrones que utilicen un foco de plasma denso para inducir una reacción deuterio-deuterio o tritio-deuterio.

79. Equipo para la generación de retardos de tiempo o la medición de intervalos de tiempo

79.1 Generadores digitales de retardos de tiempo con una resolución igual o inferior a 50 ns sobre intervalos de tiempo iguales o superiores a 1 µs;

79.2 Equipo para la medición de intervalos de tiempo y de cronometría de canales múltiples (tres o más) o modulares, con resolución temporal inferior a 50 ns sobre lapsos de tiempo superiores a 1 µs.

80. Osciloscopios

Osciloscopios y registradores de fenómenos transitorios, como se indica a continuación, y componentes especialmente concebidos para aquéllos:

80.1 Osciloscopios analógicos no modulares con un ancho de banda de 1 GHz o más;

80.2 Sistemas modulares de osciloscopios analógicos que tengan una de las características siguientes:

a) Una unidad central con un ancho de banda igual o superior a 1 GHz;

b) Módulos conectables, cada uno con un ancho de banda igual o superior a 4 GHz.

80.3 Osciloscopios analógicos de muestreo para el análisis de fenómenos periódicos con un ancho de banda efectivo superior a 4 GHz;

80.4 Osciloscopios y registradores de fenómenos transitorios digitales, que empleen técnicas de conversión analógico-digital, capaces de almacenar fenómenos transitorios mediante la toma secuencial de muestras de entradas monoestables a intervalos sucesivos inferiores a 1 ns (más de 10^9 muestras por segundo), con resolución digital de 8 bitios o más y que almacenen 256 o más muestras.

Nota 1:

Los componentes especialmente concebidos para los osciloscopios analógicos son:

i) Unidades conectables;

ii) Amplificadores externos;

iii) Preamplificadores;

iv) Dispositivos de muestreo;

v) Tubos de rayos catódicos.

Nota 2:

El "ancho de banda" se define como la banda de frecuencias para la cual la deflexión en el tubo de rayos catódicos no desciende por debajo del 70,7% de su valor máximo medido con una tensión de entrada constante al amplificador del osciloscopio.

81. Generadores de impulsos de gran velocidad

Generadores de impulsos de gran velocidad que tengan las dos características siguientes:

a) voltajes de salida superiores a 6 V sobre una carga resistiva de menos de 55 ohmios;

b) "Tiempos de transición de impulso" inferiores a 500 ps.

Nota técnica:

En el rubro 81 b), "tiempo de transición de impulso" se define como el intervalo de tiempo entre el momento en que se alcanza el 10% de la amplitud de tensión y el correspondiente al 90%.

82. Amplificadores de impulsos

Amplificadores de impulsos que reúnan todas las características siguientes:

a) Con ganancia superior a 6 decibelios (dBs);

b) Un ancho de la banda de base superior a 500 MHz (en que el punto de corte de mitad de potencia para las frecuencias bajas es inferior a 1 MHz y el punto de corte de mitad de potencia para las frecuencias altas es superior a 500 MHz);

c) Con tensión de salida superior a 2 voltios en una resistencia de 55 ohmios o menos (esto corresponde a una salida superior a 16 dBm en un sistema de 50 ohmios).

83. Tubos fotomultiplicadores

Tubos fotomultiplicadores que posean las dos características siguientes:

a) Una superficie de fotocátodo superior a 20 cm^2;

b) Un tiempo de subida del impulso anódico inferior a 1 ns.

84. Transformadores de frecuencia

Transformadores o generadores de frecuencia (denominados también convertidores o inversores), excepto los especificados en el rubro 23.4, que reúnan todas las características siguientes:

a) Salida multifásica capaz de suministrar una potencia de 40 W o más;

b) Capaces de funcionar en la gama de frecuencias de 600 a 2.000 Hz;

c) Distorsión armónica total inferior al 10%;

d) Estabilidad del control de frecuencia mejor del 0,1%.

85. Válvulas obturadas por fuelle

Válvulas que reúnan todas las características siguientes:

a) Paso nominal de 5 mm o más;

b) Sistema de obturación por fuelle o diafragma;

c) Completamente fabricadas o revestidas de aluminio, aleación de aluminio, níquel o aleación de níquel con un contenido de más del 60% de níquel.

Nota técnica:

Para válvulas con diámetro de entrada y de salida diferentes, el parámetro de paso nominal que figura en el párrafo 85 a) corresponde al diámetro menor.

86. Compresores en espiral y bombas de vacío

Compresores en espiral obturados por fuelle y bombas de vacío de tipo espiral obturadas por fuelle, en que las superficies que entran en contacto con el gas de proceso están fabricadas de cualquiera de los siguientes materiales: aluminio, aleación de aluminio, óxido de aluminio, acero inoxidable, níquel, aleación de níquel, bronce fosforoso y fluoropolímeros.

87. Aceleradores de iones

Aceleradores de iones que posean las dos características siguientes:

a) Capaces de acelerar iones a energías comprendidas entre 120 MeV y 20 GeV;

b) Con un factor de mérito (K) de 82,0 o superior.

Nota técnica:

El factor de mérito K se define como K=I(E-120), en que I es la intensidad media del haz del acelerador en mA y E es la energía final en MeV.

Apéndice 1

Principios generales

La descripción de un artículo en el anexo comprende dicho artículo, ya sea nuevo o usado.

Cuando la descripción de un artículo en el anexo 3 no contiene ninguna matización ni especificación, se considera que incluye todas las variedades de dicho artículo. Los títulos por categorías se incluyen únicamente para facilitar la consulta y no afectan a la interpretación de las definiciones de los artículos.

El objetivo de estos controles no debe poder eludirse mediante la transferencia de piezas componentes.

Los objetivos de estos controles no deben poder eludirse mediante la transferencia al Iraq de cualquier artículo no sujeto a control (incluidas plantas de producción) que contenga uno o más de los componentes sujetos a control cuando el componente o los componentes controlados sean el elemento principal del artículo y puedan retirarse o utilizarse con otros fines. A la hora de juzgar si el componente o los componentes controlados han de considerarse elementos principales, las autoridades competentes para otorgar la licencia deben ponderar los siguientes factores: cantidades, valor y conocimientos técnicos incorporados, así como cualesquiera otras circunstancias especiales que puedan determinar que el componente o los componentes son el elemento principal del artículo que se adquiere.

Apéndice 2

Controles de tecnología y programas lógicos

La transferencia de “tecnología” o “programas lógicos” directamente relacionados con cualquier artículo del anexo 3 estará sujeta al mismo grado de inspección y control que el propio artículo. La transferencia de “tecnología” o “programas lógicos” para artículos prohibidos está también prohibida.

La autorización de transferencia al Iraq de cualquier artículo del anexo 3 que el Iraq no tenga prohibido puede entrañar la transferencia al mismo usuario final del mínimo de “tecnología” o “programas lógicos” necesarios para la instalación, funcionamiento, mantenimiento y reparación del artículo.

Los controles sobre transferencias de “programas lógicos” no se aplican a:

a) Programas lógicos generalmente al alcance del público:

i) Vendidos a partir de las existencias de puntos de venta al por menor no sometidos a restricciones;

ii) Concebidos para su instalación por el usuario sin necesidad de asistencia ulterior del proveedor;

b) Programas lógicos “de dominio público”.

Apéndice 3

Lista de actividades nucleares permitidas con arreglo a la resolución 707 del Consejo de Seguridad

Para mayor comodidad se reproduce el anexo 4 del plan VVP.

Anexo 4

Lista de actividades nucleares permitidas con arreglo a la resolución 707 del Consejo de Seguridad

Están permitidas las siguientes aplicaciones pacíficas de isótopos importados de otros Estados tras su previa aprobación por el OIEA:

1. Aplicaciones agrícolas

1.1 Fertilidad del suelo, irrigación y producción agrícola

1.2 Fitomejoramiento y fitogenética

1.3 Producción y sanidad pecuarias

1.4 Control de insectos y de plagas

1.5 Conservación de los alimentos

1.6 Otros usos aprobados por el OIEA

2. Aplicaciones industriales

2.1 Radiografía y otros métodos de ensayo no destructivos

2.2 Control de procesos industriales y control de calidad

2.3 Aplicaciones de indicadores radiactivos en procesos petrolíferos, químicos y metalúrgicos

2.4 Desarrollo de recursos acuíferos y minerales

2.5 Tratamiento industrial de las radiaciones

2.6 Otros usos aprobados por el OIEA

3. Aplicaciones médicas

3.1 Diagnóstico y medicina terapéutica, incluida la dosimetría

3.2 Radioterapia por teleterapia y braquiterapia

3.3 Estudios ambientales relacionados con la nutrición y la salud

3.4 Otros usos aprobados por el OIEA

Apéndice 4

Definiciones

“Asistencia técnica”

La ‘asistencia técnica’ puede asumir las formas de instrucción, adiestramiento especializado, formación, conocimientos prácticos y servicios consultivos.

Nota

La ‘asistencia técnica’ podrá entrañar la transferencia de ‘datos técnicos’.

“Datos técnicos”

Los ‘datos técnicos’ podrán asumir la forma de copias heliográficas, planos, diagramas, modelos, fórmulas, diseño y especificaciones de ingeniería, manuales e instrucciones escritos o registrados en otros medios o dispositivos como discos, cintas o memorias para lectura únicamente.

“De dominio público”

Por la expresión ‘de dominio público’, tal como se emplea en el presente texto, se entenderá la ‘tecnología’ o los ‘programas lógicos’ que se han facilitado sin mayores restricciones respecto de su ulterior difusión. (Las restricciones que dimanen de la propiedad intelectual o industrial no impiden que la ‘tecnología’ o los ‘programas lógicos’ pertenezcan al dominio público.)

“Desarrollo”

Se refiere a todas las etapas previas a la ‘producción’, como:

- el proyecto
- la investigación para el proyecto
- los análisis del proyecto
- los conceptos básicos del proyecto
- el montaje y ensayo de prototipos
- los esquemas de producción en etapa experimental
- los datos del proyecto
- el proceso de convertir los datos del proyecto en un producto
- la configuración del proyecto
- la integración del proyecto
- planos y esquemas

“Investigación científica básica”

Trabajos experimentales o teóricos emprendidos principalmente para adquirir nuevos conocimientos acerca de los principios fundamentales de fenómenos y de hechos observables, que no están orientados primordialmente hacia un fin u objetivo práctico concreto.

“Linealidad”

(Medida habitualmente en términos de no-linealidad) es la desviación máxima de la característica de que se trate (el valor medio de las lecturas por exceso y por defecto), positiva o negativa, a partir de una línea recta situada de manera que compense y minimice las desviaciones máximas.

“Material básico”

- El término ‘material básico’ designa el uranio que contiene la mezcla de isótopos que se da en la naturaleza; el uranio empobrecido en el isótopo 235; el torio; cualesquiera de los anteriores en forma de metal, aleación, compuesto químico o concentrado.
- El término ‘material básico’ se interpreta como no aplicable al mineral o al residuo del mineral, en particular a la torta amarilla, concentrado formado esencialmente por U_3O_8.

“Material de uso directo”

Material nuclear que puede utilizarse para la fabricación de componentes de explosivos nucleares sin previa transmutación ni enriquecimiento, tales como el plutonio con un contenido inferior al 80% de plutonio-238, el UME y el uranio-233. También entran en esta categoría los compuestos químicos, las mezclas de materiales de uso directo (por ejemplo, el MOX) y el plutonio contenido en el combustible consumido. El tratamiento del material de uso directo no irradiado requerirá menor tiempo y esfuerzo que el material de uso directo irradiado (contenido en el combustible consumido).

“Material fisionable especial”

- La expresión “material fisionable especial” hace referencia a: plutonio-239; uranio-233; uranio enriquecido en los isótopos 235 ó 233; cualquier material que contenga uno o más de los elementos mencionados. Esta expresión no incluye el material básico.
- La expresión uranio-233; ‘uranio enriquecido en los isótopos 235 ó 233’ se refiere a uranio que contenga los isótopos 235, 233 o ambos en una cantidad tal que la proporción de la suma de dichos isótopos respecto al isótopo 238 sea mayor que la proporción del isótopo 235 respecto al isótopo 238 que se da en la naturaleza.

“Microprograma”

Sucesión de instrucciones elementales, almacenadas en una memoria especial, cuya ejecución se inicia gracias a la introducción de su instrucción de referencia en un registro de instrucciones.

“Óxido mixto (MOX)”

Combustible de reactor formado por una mezcla de los óxidos de uranio y plutonio. El MOX se utiliza para reciclar el combustible consumido reelaborado (tras la separación de los desechos) para su utilización en reactores nucleares térmicos (reciclaje

térmico) y como combustible para reactores reproductores rápidos. El MOX se considera material fisionable especial y material de uso directo.

“Plutonio”

Un elemento radiactivo del que sólo se encuentran trazas en la naturaleza, de número atómico 94 símbolo Pu. El plutonio producido por la irradiación de combustibles de uranio contiene diversos porcentajes de los isótopos 238, 239, 240, 241 y 242. El plutonio se considera material fisionable especial y material de uso directo.

“Precisión”

Se mide normalmente en función de la imprecisión, que se define como la desviación máxima, positiva o negativa, de un valor indicado con respecto a una norma aceptada o un valor real.

“Producción”

Se refiere a todas las etapas de la producción, como:

- la construcción
- la ingeniería de producción
- la fabricación
- la integración
- el ensamblado (montaje)
- la inspección
- los ensayos
- la garantía de calidad

“Programa”

Sucesión de instrucciones para llevar a cabo un proceso en forma ejecutable por una computadora electrónica, o convertible en dicha forma.

“Programa lógico”

Una colección de uno o más ‘programas’ o ‘microprogramas’ montados en cualquier medio tangible de expresión.

“Programa lógico especialmente concebido”

Se refiere a los sistemas operativos mínimos, los sistemas de diagnóstico, sistemas de mantenimiento y programas lógicos de aplicación necesarios para su ejecución en un equipo concreto a fin de realizar la función para la que fue concebido. Para lograr que otro equipo incompatible realice la misma función es necesario:

- modificar dicho programa lógico, o
- añadir nuevos programas.

“Tecnología”

Se entenderá por ‘tecnología’ la información concreta necesaria para el ‘desarrollo’, la ‘producción’ o la ‘utilización’ de cualquiera de los rubros que figuran en el anexo 3, información que podrá adoptar la forma de ‘datos técnicos’ o ‘asistencia técnica’.

“Uranio-233”

Un isótopo de uranio que se obtiene por transmutación de torio-232 y que se considera material fisionable especial y material de uso directo.

“Uranio empobrecido”

Uranio en que la proporción de isótopo 235 es inferior a la del uranio en estado natural, como el uranio del combustible consumido en reactores alimentados con uranio natural y los relaves del proceso de enriquecimiento del uranio.

“Uranio enriquecido”

Uranio con una proporción del isótopo 235 superior a la del uranio en estado natural. El uranio enriquecido se considera material fisionable especial.

“Uranio muy enriquecido (UME)”

Uranio enriquecido a un 20% o más en el isótopo 235. El UME se considera material fisionable especial y material de uso directo.

“Uranio natural”

Uranio en su estado natural habitual, con un peso atómico aproximado de 238 y que contiene cantidades insignificantes de uranio-234, un 0,7% de uranio-235 y un 99,3% de uranio-238.

“Uranio poco enriquecido (UPE)”

Uranio enriquecido a menos de un 20% del isótopo 235.

“Utilización”

Operación, instalación (incluida la instalación in situ), mantenimiento (verificación), reparaciones, revisión general y reconstrucción.

Apéndice 5

Sistema internacional de unidades y abreviaturas

En el presente anexo se utiliza el Sistema Internacional de Unidades (SI). La magnitud física definida en unidades del SI debe considerarse en todos los casos como el valor oficial de control recomendado. No obstante, algunos parámetros de máquinas herramientas se dan en sus unidades usuales, que no pertenecen al SI.

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

A	amperio(s)
Bq	bequerelio(s)
°C	grado(s) Celsius
CA	servicio de resúmenes químicos
Ci	curio(s)
cm	centímetro(s)
dB	decibelio(s)
dBm	decibelio referido a 1 milivatio
g	gramo(s)
g	aceleración de la gravedad (9,81 m/s)
GBq	gigabequerelio(s)
GH	gigahercio(s)
Gpa	gigapascal(es)
Gy	gray
h	hora(s)
Hz	hercio(s)
J	julio(s)
K	Kelvin
keV	kiloelectronvoltio(s)
kg	kilogramo(s)
kHz	kilohercio(s)
kN	kilonewton(s)
kPa	kilopascal(es)
kV	kilovoltio(s)
kW	kilovatio(s)
m	metro(s)
mA	miliamperio(s)
MeV	megaelectronvoltio(s)
MHz	megahercio(s)
ml	mililitro(s)
mm	milímetro(s)
Mpa	megapascal(es)
mPa	milipascal(es)
MW	megavatio(s)
µF	microfaradio(s)
µm	micrómetro(s)
µs	microsegundo(s)
N	newton(s)
nm	nanómetro(s)
ns	nanosegundo(s)
nH	nanohenrio(s)
ps	picosegundo(s)
RMS	raíz media cuadrática
rpm	revoluciones por minuto
s	segundo
T	tesla(s)
TIR	lectura total de indicador
V	voltio(s)
W	vatio(s)

Índice analítico

A

Aceleradores de iones, 90
Acero al níquel con bajo contenido de carbono, 16, 78, 79
Acero inoxidable, 25, 27, 29, 36, 42, 44, 46, 51, 90
Adsorbentes, 35
Agua pesada
(deuterio), 47, 49, 58, 88
(óxido de deuterio), 47, 49, 58
Aleación nitrurada de niobio-titanio-tungsteno, 87
Aleaciones de aluminio, 13, 22, 25, 29, 36, 46, 78
Aleaciones de níquel, 46
Alimentación de alta tensión, 44
Aluminio, 46, 78, 81, 90
Americio, 20
Amortiguadores, 23
Amplificadores de impulsos, 89
Amplificadores externos
para osciloscopios, 89
Análisis isotópico
sistema colector, 25, 29, 32, 38
Analizadores por absorción en el infrarrojo, 49
Ancho de banda, 40, 81, 88, 89
Antenas
microondas, 42. *Véase Fuentes de energía de microondas y antenas*
Autoclaves de alimentación, 24, 28
AVLIS, 36. *Véanse Sistemas de láser y Separación por láser en vapor atómico*

B

Barreras de difusión gaseosa, 26
Berilio, 13
Bismuto, 13
Bobinas, 42, 80. *Véase Bobinas excitadoras de iones*
Bobinas excitadoras de iones, 42
Bombardeo electrónico, 25, 29, 32, 38, 46
Bombas de circulación, 50
Bombas de etapa, 49
Bombas del refrigerante primario, 57
Bombas de vacío, 28, 31, 37, 45, 90
Bombas moleculares
componentes estáticos, 22, 23,
Boro, 14, 16, 58, 62

C

Calcio, 14, 16, 54, 55
Cámaras de imágenes múltiples, 83
Cámaras electrónicas de imagen unidimensional, 83
Cámaras mecánicas de espejo giratorio, 83
Carcasas de las centrífugas, 23
Carcasas de los elementos de separación, 30, 31
Carcasas del módulo separador, 37, 42
Carcasas para difusores, 26
Catalizadores platinizados, 49
Celdas calientes, 53, 62, 65
Celdas de reducción
electroquímica, 33, 34
Célula de Kerr, 83
Célula de Pockel, 83
Centrífugas de gas, 21
Ciclotetrametilentetranitroamina (HMX), 87
Ciclotrimetilentrinitroamina (RDX), 87
Cintas
continuas, 15
Circonato de calcio (Ca_2ZrO_3), 87
Circonio, 17, 57, 61, 62
Códigos
hidrodinámica, 84
neutrónicos, 84
transporte de fotones, 84
Códigos de computadora para explosivos nucleares, 84
Cojinetes, 22, 23, 68, 83
Cojinetes/amortiguadores
componentes estáticos, 23
Cojinetes de suspensión magnética
componentes estáticos, 22
Colectores de iones, 44. *Véase Fuentes de ionización por bombardeo electrónico*
Colectores del producto
pentafluoruro de uranio (SILMO), 37
Columnas de destilación criogénica de hidrógeno, 51
Columnas de intercambio, 32, 33, 35, 51
Combustible irradiado, 60, 61, 62
Combustible nuclear irradiado, 12, 60, 61
Componente sensor de instrumentos, 12
Componentes, 69
Componentes de osciloscopios, 89
Componentes estáticos, 22

Componentes rotatorios
anillos o fuelles, 21
conjuntos rotores completos, 21
diafragmas, 21, 22, 78
materiales para, 22
tapones superiores/inferiores, 21, 22, 78
tubos rotores, 21, 23
Compresores, 26, 29, 30, 38, 48, 50, 90
Compresores de gas
UF_6/gas portador (SILMO), 38
Compresores en espiral, 90
Compresores e impulsores de gas, 26
Computadoras, 84
Computadoras digitales, 84
Condensadores, 24, 28, 31, 39, 86
Condensadores
(o trampas frías), 24, 28, 31, 39
Conformación de fuelles
mandriles y matrices para, 78
Conjuntos colectores
del "producto" y los "relaves" (SILVA), 37, 42
Conjuntos de ignición, 85
Controladores digitales, 81
Convertidores de síntesis de amoníaco, 51
Convertidores, 25, 51, 90. *Véase Transformadores de frecuencia*
Crioseparadores, 32, 39
CRISLA, 36, 39. *Véase Reacción química por láser isotópicamente selectivo*
Crisoles, 37, 42, 55, 87, 88
Cuarzo, 81

D

Desviación de la posición angular, 76, 77
Detonadores, 84, 85
Deuterio, 47, 49, 58, 88
Diafragmas
componentes en forma de disco dentro del tubo rotor, 21, 22, 78
Difusión gaseosa, 25, 26, 27, 28, 29
Disociadores de amoníaco, 49
Dispositivos de conmutación, 86
Dispositivos de muestreo
para osciloscopios, 89
Dispositivos internos de reactores, 57

E

Electroimanes superconductores, 43
Enriquecimiento de uranio, 21, 45, 46, 47
Enriquecimiento electromagnético, 43
Enriquecimiento por difusión gaseosa, 25, 27, 28
sistemas, equipo o componentes auxiliares, 27
Enriquecimiento por intercambio iónico, 35
Equipo de desarrollo de sistemas de implosión, 81
Equipo de fabricación de rotores, 77, 78
Equipo de rayos X de destello, 82
Equipo especializado, 81
Equipo para ensayos a las vibraciones, 80
Equipo para la generación de retardos de tiempo, 88
Equipo para la medición de intervalos de tiempo, 88
Espectrómetros de masa, 25, 28, 31, 38, 46. *Véase también* Espectrómetros de masa para UF_6
de bombardeo electrónico, 25, 28, 29, 31, 32, 38, 46
de descarga luminosa, 46
de plasma acoplado inductivamente (ICP), 46
Espectrómetros de masa de haz molecular, 46
Espectrómetros de masa de ionización térmica, 46
Espectrómetros de masa de plasma acoplados inductivamente, 46
Espectrómetros de masa para UF_6, 25, 28, 31, 38
Espinterómetros
con excitación, 86
Estaciones de licuefacción, 28
Estaciones de solidificación, 31, 39
Estaciones para el "producto" y los "relaves", 24
Estatores de motores
componentes estáticos, 23, 25
Estructuras de sostén de las piezas de ensayo, 81
Estructuras peliculares
revestimiento superficial, 35
Experimentos hidrodinámicos
equipo especializado para, 81
Explosivos detonantes, 63, 87
Extractores por solvente, 61

F

Fabricación de rotores, 77, 78
Flúor, 38, 53, 54, 55
Fluoruro de calcio
(CaF_2), 87
Fuente para calibración de instrumentos, 12

Fuentes de alimentación
de alta tensión, 44, 45
de gran intensidad, 44, 45
Fuentes de energía de microondas y antenas, 42
Fuentes de iones, 25, 28, 29, 31, 32, 38, 43, 44, 46
Fuentes de ionización por bombardeo electrónico, 25, 29, 32, 38. *Véase también Espectrómetros de masa para UF_6,*
Fuentes de radiación alfa, 19

G

Generadores de impulsos
de gran velocidad, 89
de intensidad elevada, 85
Grafito
de pureza nuclear, 13, 58

H

Haces de moléculas, 46
Hafnio, 15, 17, 57, 87
Helio-3, 18
Hexanitroestilbeno
(HNS), 87
Hidrodinámica
códigos, 84
Hidrógeno, 18, 29, 30, 32, 41, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 54, 58
Hilados
continuos, 15
HMX, 87. *Véase Ciclotetrametilentetranitroamina*
HNS, 87. *Véase Hexanitroestilbeno*
Hornos
de alta temperatura, 80
metalúrgicos de fundición y de colada al vacío o de ambiente controlado, 80
Hornos de oxidación, 79

I

Impulsores de gas, 26, 30. *Véase Compresores e impulsores de gas*
Impulsores de vibración
(unidades agitadoras), 81
Impurezas metálicas, 14, 16, 34
Incertidumbre de medición, 75, 76
Iniciadores de laminilla (EFI), 84
Inspección dimensional
máquinas, 69, 75, 76
Instalaciones, 47, 51, 53, 55, 60, 65
Instrumentos de medida de desplazamiento
lineal y angular, 75
Intercambio, 32, 33, 34, 35, 47, 48, 49, 50, 51
Intercambiadores de calor
criogénicos, 32, 39
Intercambiadores de calor para enfriar el UF_6, 27, 29, 30, 57, 58
Intercambio iónico, 32, 33, 34, 35
Intercambio iónico
columnas, 33, 35
sólido-líquido, 32, 33
Intercambio químico
líquido-líquido, 32, 33
Interferómetros de velocidad, 81
Inversores, 25, 90. *Véase Transformadores de frecuencia*
Iones, 25, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 38, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 90
Ionización de una sal, 43
Isótopo 235, 12, 96, 98
Isótopos
separadores electromagnéticos, 43, 44, 45

L

Láseres de alejandrita, 40
Láseres de anhídrido carbónico, 40
Láseres de argón ionizado, 40
Láseres de colorante, 39, 40
Láseres de vapor de cobre, 39
Láseres pulsatorios de excímero, 39, 41
Lentes explosivas, 85
Linealidad, 75, 77, 96
Líquido-líquido
columnas de intercambio, 32, 33, 35, 51
contactores centrífugos, 32, 33
Litio, 16, 51
Litio-6
separación, 51

M

Magnesio, 14, 16, 54
Mandriles y matrices
para la conformación de fuelles, 78
Manómetros de manganina, 81
Máquinas de balanceo de centrífugas, 78
Máquinas de conformación por estirado, 74
Máquinas de conformación por rotación, 74

Máquinas de inspección dimensional, 69, 75, 76
Máquinas de soldadura por haz de electrones, 79
Máquinas devanadoras de filamentos, 79
Máquinas herramientas, 65, 66, 67, 68, 69, 71, 72, 76
Máquinas para la carga y descarga
del combustible en el reactor, 56
Máquinas troceadoras
de elementos combustibles irradiados, 60
Material certificado de referencia, 12
Materiales fibrosos o filamentosos, 14, 15, 78, 79
Materiales filamentosos, 22
Materiales fisionables, 12, 59
Materiales resistentes al UF_6, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 46
Matrices, 77, 78
MLIS, 36. *Véanse Sistemas de láser y Separación isotópica molecular por láser*
Módulo específico, 14, 15, 22
Moldes, 77
Molibdeno, 34, 46
Monofilamentos
continuos, 15

N

Neptunio, 13, 19, 20
Níquel, 16, 17, 18, 22, 25, 26, 27, 28, 29, 36, 46, 78, 79, 81, 90
Nitrato de plutonio, 53, 55, 60, 62

O

Obturadores para ejes de rotación, 26, 30, 38
Obturadores para ejes de rotación
SILMO, 38
Osciloscopios, 88, 89
Óxido de circonio
(ZrO_2), 87
Óxido de deuterio, 47, 49, 58
Óxido de erbio
(Er_2O_3), 87
Óxido de hafnio
(HfO_2), 87
Óxido de itrio
(Y_2O_3), 87
Óxido de magnesio
(MgO), 87

P

Paletas, 21, 23
Partes internas de las torres, 49
Percutor, 84, 85
PETN, 85, 87. *Véase Tetranitrato de pentaeritrita*
Piezas forjadas, 13, 17
Piezas polares de los imanes, 44
Plantas, 20, 24, 27, 28, 29, 31, 32, 34, 36, 39, 41, 42, 43, 47, 48, 51, 52, 53, 59, 60, 62, 92
Plantas de enriquecimiento aerodinámico, 29, 31
Plantas de enriquecimiento por láser, 36
Plantas de enriquecimiento por separación en un plasma, 41, 42
Plantas de fabricación de combustible nuclear, 59
Plantas de fabricación de elementos combustibles, 59
Plantas de separación de isótopos, 20, 47, 51
Plantas para la conversión de uranio, 52
Plutonio, 12, 19, 52, 53, 55, 60, 61, 62, 65, 96, 97
Plutonio metálico, 55, 60
Preamplificadores
para osciloscopios, 89
Prensas isostáticas
(en frío y en caliente), 77
Proceso de separación en un plasma, 41
Programas lógicos, 47, 68, 70, 72, 75, 76, 78, 80, 81, 84, 93, 95, 97
Programas lógicos para instalaciones de enriquecimiento de uranio, 47
Puente explosivo
filamento metálico, 84

Q

Quemadores catalíticos, 49

R

Radio-226, 16
RDX, 87. *Véase Ciclotrimetilentrinitroamina*
Reacción química por láser isotópicamente selectiva, 36
Reactores nucleares, 56, 57, 96
Receptáculos de vacío, 44
Recipientes de disolución, 61
Recipientes del reactor, 56
Recipientes de recolección de productos químicos, 61, 62

Recipientes y carcasas de las centrífugas, 23
Registradores de fenómenos transitorios, 88, 89
Relleno especializado, 49
Resinas, 35
  macrorreticulares porosas, 35
Resinas/adsorbentes de intercambio iónico
  de reacción rápida, 35
Resistencia específica a la tracción, 14, 15, 22
Resolución unitaria, 25, 29, 32, 38
Resonancia magnética nuclear (NMR)
  formación de imágenes, 43

S

Sal, 43
Semiesferas de pasador, 81
Separación, 20, 22, 25, 29, 30, 32, 33, 34, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 47, 49, 51, 55, 60, 65, 96
Separación isotópica molecular por láser, 36
Separación isotópica por láser en vapor atómico, 36, 41
Separadores
  electromagnéticos de isótopos, 43, 44, 45
SILMO, 36, 37, 38, 39. *Véase Separación isotópica molecular por láser*
SILVA, 36, 37, 39, 41. *Véase Separación por láser en vapor atómico*
Simuladores de reactor, 58
Síntesis de amoníaco, 51
Sistemas auxiliares
  para plantas de enriquecimiento por centrifugación gaseosa, 24
Sistemas colectores, 28, 31
Sistemas de alimentación, 24, 28, 31, 39
Sistemas de aspersión de plasma, 79
Sistemas de cañones, 83
Sistemas de control de procesos, 46
Sistemas de conversión
  de concentrados de mena uranífera en UO_3, 52, 53
  de UF_4 en U metálico, 54
  de UF_4 en UF_6, 52, 54
  de UF_6 en UF_4, 52, 54
  de UF_6 en UO_2, 54
  de UO_2 en UCl_4, 55
  de UO_2 en UF_4, 54
  de UO_3 en UF_6, 53
  de UO_3 en UO_2, 52, 53
Sistemas de extracción del “producto” y los “relaves”, 24, 28, 31, 39
Sistemas de fluoración
  SILMO, 38
Sistemas de iniciación de puntos múltiples, 84
Sistemas de láser, 36, 39, 68, 69
Sistemas de manipulación del uranio metálico líquido, 37, 42
Sistemas de manipulación química, 43
Sistemas de oxidación del uranio
  intercambio químico, 34
Sistemas de preparación de la alimentación
  intercambio químico, 34
Sistemas de reducción del uranio, 33
Sistemas de reflujo
  intercambio iónico, 35
Sistemas de suministro de energía
  alta tensión, 43
  imán, 43
  vacío, 43
Sistemas de tuberías y colectores de las máquinas, 24
Sistemas de vacío, 28, 31
Sistemas de vaporización del uranio
  (SILVA), 37
Sistemas generadores de neutrones, 88
Sistemas de generadores de plasma
  uranio, 42
Sistemas Schlieren, 81
Sopladores y compresores, 48
Sulfuro de cerio
  (Ce_2S_3), 87

T

Tabla rasa, 81
TATB, 87. *Véase Triaminotrinitrobenceno*
Tántalo, 20, 36, 37, 42, 87, 88
Tapones
  superiores/inferiores, 21, 22
Tecnología de reelaboración, 60
Tensión máxima anódica nominal, 86
Tetranitrato de pentaeritrita
  (PETN), 85, 87
Titanio, 17, 35, 61, 62, 87
Toberas de expansión
  supersónica (SILMO), 37
Toberas de separación, 30
Torio, 12, 19, 39, 96, 98
Torres de intercambio
  agua - ácido sulfhídrico, 48
  amoníaco - hidrógeno, 47
Trampas frías, 24, 27, 28, 31, 32, 39. *Véase Condensadores*

Transductores de presión
de cuarzo, 81, 82
Transformadores de frecuencia, 25, 90
Triaminotrinitrobenceno
(TATB), 87
Trifluoruro de cloro, 14, 53
Tritio, 18, 49, 51, 52, 88
Tubos de cátodo frío, 86
Tubos de imagen unidimensional, 83
Tubos de imágenes múltiples, 83
Tubos de presión para reactores, 56
Tubos de rayos catódicos
para osciloscopios, 89
Tubos fotomultiplicadores, 90
Tubos rotores, 21, 23
Tubos vidicon, 83
Tubos vorticiales, 29, 30, 32
Tungsteno, 17, 87

U

UF_4, 52, 53, 54
UF_6, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 36, 37, 38, 39, 46, 52, 53, 54
UF_6
espectrómetros de masa/fuentes de iones, 25, 28, 31, 38
UF_6
materiales resistentes al, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 46
U F_6 UO_2
UF_6/gas portador
(hidrógeno o helio), 30, 32
Unidades conectables
para osciloscopios, 89
Unidades de refrigeración criogénicas, 32, 39
Uranio, 32, 33, 34, 36, 37, 41, 42, 45, 52, 53, 54, 60, 61, 65
Uranio metálico líquido, 37, 42
Uranio metálico, 36, 37, 43, 52
Uranio muy enriquecido
(UME), 12, 45, 98
Uranio poco enriquecido
(UPE), 12, 98

V

Válvulas
de parada y control, 28, 31
Válvulas obturadas por fuelle, 90
Vaporización del uranio, 37
Varillas de control para reactores, 56, 59, 60, 61