(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 928 590**

(51) Int. CI.:

C01G 39/00 (2006.01)
G21G 1/00 (2006.01)
B01D 15/36 (2006.01)
B01D 15/42 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.08.2017 PCT/US2017/046710**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **22.02.2018 WO18035016**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.08.2017 E 17758686 (4)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.10.2022 EP 3500526**

(54) Título: **Métodos para purificar molibdeno-99**

(30) Prioridad:

16.08.2016 US 201662375684 P

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.11.2022

(73) Titular/es:

CURIUM US LLC (100.0%)
111 Westport Plaza, Suite 800
St. Louis, MO 63146, US

(72) Inventor/es:

BARBOSA, LUIS ANTONIO M.M.;
DEKKER, FRITS;
GERRITSEN, MARJOLIJN y
HERMELER, MARK

(74) Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Métodos para purificar molibdeno-99

Campo de la divulgación

El campo de la divulgación se refiere a métodos para purificar molibdeno-99. En particular, el campo de la divulgación se refiere a soluciones y secuencias de extracción para eliminar molibdeno-99 de una resina de intercambio aniónico.

Antecedentes

El tecnecio-99m (Tc-99m) es un radioisótopo comúnmente utilizado con fines médicos de diagnóstico. El tecnecio-99m se puede utilizar en métodos de generación de imágenes *in vivo* como un radiotrazador emisor para rastrear los procesos bioquímicos, moleculares y/o fisiopatológicos en humanos y animales. El tecnecio-99m emite rayos gamma que pueden servir como balizas para identificar la ubicación exacta de enfermedades y procesos patológicos en estudio sin exploración quirúrgica del cuerpo humano. Con estos métodos de generación de imágenes no invasivos, el diagnóstico de enfermedades puede ser más cómodo para los pacientes, a diferencia de los enfoques más tradicionales e invasivos, tales como las cirugías exploratorias.

El tecnecio-99m (Tc-99m) se puede obtener a partir del radioisótopo molibdeno-99 (Mo-99). El Tc-99m tiene una semivida de aproximadamente 6 horas y se desintegra principalmente por emisión gamma al isótopo tecnecio-99 (Tc-99), que tiene una semivida considerable de aproximadamente 211.000 años. Estas propiedades hacen del Tc-99m un material ideal para el radiotrazado médico. Por lo tanto, la disponibilidad del progenitor de vida prolongada, Mo-99, que tiene una semivida de aproximadamente 66 horas, es de gran interés debido a su generación del radioisótopo Tc-99m de vida más corta.

El molibdeno-99 puede obtenerse por fisión de un cuerpo objetivo que contenga uranio-235 enriquecido. Los objetivos irradiados se procesan extrayendo molibdeno-99 de los objetivos, seguido de varios pasos de separación y purificación.

Por ejemplo, el documento US 5508010 A divulga un método para separar Mo-99 de otros productos de fisión en el que una solución acuosa de Mo-99 y productos de fisión se pone en contacto con un intercambiador de iones altamente alcalino y a continuación, se eluye con una solución que contiene ácido nítrico y una sal nitrato.

El documento WO 2012/018752 A1 divulga un método para purificar una solución ácida que contiene Mo-99 que comprende poner en contacto la solución con medios de intercambio aniónico y eluir el Mo-99 con una solución ácida, tal como una solución concentrada de ácido nítrico.

Existe una necesidad de procedimientos para purificar molibdeno-99 que impliquen una mayor recuperación de molibdeno-99 y que produzcan menos residuos.

Se pretende que esta sección introduzca al lector en varios aspectos de la técnica que pueden estar relacionados con varios aspectos de la divulgación, que se describen y/o reivindican a continuación. Se cree que esta discusión es útil para proporcionar al lector información antecedente para facilitar una mejor comprensión de los diversos aspectos de la presente divulgación. En consecuencia, se debe entender que estas declaraciones deben leerse a la luz de esto, y no como admisiones del estado de la técnica.

Compendio

Un aspecto de la presente divulgación se refiere a un método para purificar una corriente de alimentación de molibdeno-99 que comprende molibdeno-99. La corriente de alimentación de molibdeno-99 se contrae con medios de intercambio aniónico para adsorber molibdeno-99 sobre los medios. Los medios con molibdeno-99 adsorbido se pone en contacto con una solución eluyente que contiene ácido nítrico. Los medios con molibdeno-99 adsorbido también se pone en contacto con una solución eluyente que contiene hidróxido.

Existen varios refinamientos de las características señaladas con relación al aspecto mencionado anteriormente de la presente divulgación. También se pueden incorporar características adicionales al aspecto mencionado anteriormente de la presente divulgación. Estos refinamientos y características adicionales pueden existir individualmente o en cualquier combinación. Por ejemplo, varias características discutidas a continuación con relación a cualquiera de las realizaciones ilustradas de la presente divulgación pueden incorporarse al aspecto descrito anteriormente de la presente divulgación, solas o en cualquier combinación.

Descripción detallada

Las disposiciones de la presente divulgación se refieren a métodos para purificar molibdeno-99. La corriente de molibdeno-99 se pone en contacto con medios de intercambio aniónico y se extrae en una extracción de dos pasos

en la que se utilizan un eluyente de ácido nítrico y un eluyente de hidróxido para recuperar el molibdeno-99 de la resina de intercambio aniónico.

La solución de molibdeno-99 (a la que se puede hacer referencia en el presente documento como la "corriente de alimentación de molibdeno-99") que se purifica de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación puede ser un producto aguas abajo de la irradiación con uranio-235. El procedimiento de irradiación produce molibdeno-99 y varios otros subproductos y contaminantes de la irradiación. Después de separar el molibdeno-99 del cuerpo objetivo y realizar varios procedimientos de purificación, se obtiene una solución que contiene molibdeno-99 relativamente pura que se somete al procedimiento de purificación de las realizaciones de la presente divulgación. La solución contiene pequeñas cantidades de otros isótopos tales como tungsteno-187, rutenio-103 y rutenio-106. La corriente de alimentación de molibdeno-99 puede tener una pureza de aproximadamente 90% en peso en base seca (p. ej., puede contener al menos aproximadamente 90% en peso de molibdeno-99 en base seca o al menos aproximadamente 95% en peso o incluso al menos aproximadamente 99% de molibdeno-99 en base seca). Alternativamente o adicionalmente, la corriente de alimentación puede contener molibdeno-99 en una cantidad adecuada para tener una actividad de al menos aproximadamente 87,3 GBq/mg.

En algunas realizaciones, la corriente de alimentación de molibdeno-99 que se carga en la columna es la descarga alcalina acuosa de un paso de purificación previo en el procesamiento de molibdeno-99. El molibdeno-99 en la corriente de alimentación puede estar en forma de iones de molibdenilo ($^{99}MoO_2^{2+}$). La corriente de alimentación de molibdeno-99 puede incluir un hidróxido tal como hidróxido de sodio o potasio (es decir, una solución acuosa de hidróxido es la solución portadora). La concentración de hidróxido puede ser de 0,1 M a aproximadamente 4 M o de aproximadamente 0,5 M a aproximadamente 2 M (p. ej., aproximadamente 1 M). La corriente de alimentación cargada en la columna puede tener un volumen de aproximadamente 200 ml a aproximadamente 1500 ml o de aproximadamente 400 ml a aproximadamente 1200 ml. La corriente de alimentación de molibdeno-99 puede contener al menos aproximadamente 10 ppm de molibdeno-99 o al menos aproximadamente 25 ppm, al menos aproximadamente 50 ppm o al menos aproximadamente 75 ppm (p. ej., de aproximadamente 10 ppm a aproximadamente 1000 ppm, de aproximadamente 10 ppm a aproximadamente 500 ppm o de aproximadamente 50 ppm a aproximadamente 250 ppm de molibdeno-99).

La columna de intercambio iónico en la que se carga el isótopo de molibdeno-99 incluye medios de intercambio aniónico (p. ej., resina de intercambio aniónico) y puede ser una columna de intercambio aniónico fuertemente alcalina. Estas columnas de intercambio aniónico fuertemente alcalinas mantienen una carga positiva en un amplio rango de pH. Las resinas de intercambio aniónico fuertemente alcalinas ilustrativas incluyen resinas de amonio cuaternario. La resina de intercambio puede estar en forma de hidróxido y puede tener un tamaño de malla compatible con la cromatografía de metales o metaloides (p. ej., de aproximadamente 100 a aproximadamente 200 de malla). Las resinas adecuadas se pueden adquirir comercialmente, tales como AG1-X4 o AG1-X8 (BIO-RAD (Hercules, California)). También se pueden adquirir resinas de intercambio aniónico alcalinas fuertes adecuadas de Eichrom (Lisle, Illinois).

Después de la carga, la columna y los medios con molibdeno-99 adsorbido se eluyen para extraer el molibdeno-99 de la columna. La columna se pone en contacto con una solución eluyente (a la que se puede hacer referencia en el presente documento como una "solución de extracción") que incluye ácido nítrico (HNO_3) y opcionalmente una sal nitrato, y una solución eluyente que contiene hidróxido. La elución se puede realizar a temperatura ambiente (p. ej., aproximadamente 20°C) o incluso a temperaturas superiores a la temperatura ambiente (p. ej., superiores a aproximadamente 20°C, superiores a aproximadamente 30°C o, en algunas realizaciones, dentro de un rango de temperaturas tales como de aproximadamente 30°C a aproximadamente 60°C).

En algunas realizaciones, la sal nitrato se selecciona entre sales nitrato de metales alcalinos o alcalinotérreos. En otras realizaciones, la sal nitrato se selecciona entre sales alcalinas tales como nitrato de sodio y nitrato de potasio.

La concentración del nitrato en la solución de extracción puede ser al menos aproximadamente 0,01 M o al menos aproximadamente 0,1 M, al menos aproximadamente 0,5 M o al menos aproximadamente 1 M (de aproximadamente 0,01 M a aproximadamente 6 M o de aproximadamente 0,1 M a aproximadamente 6 M). A medida que disminuye la concentración de ácido nítrico, la concentración de nitratos puede aumentar para compensar y viceversa.

La razón de la masa de la solución eluyente que incluye ácido nítrico y sal nitrato con respecto a la masa de molibdeno-99 cargada en la columna puede ser inferior a aproximadamente 4:1, inferior a aproximadamente 2:1, inferior a aproximadamente 3:2, inferior a aproximadamente 1:1, inferior a aproximadamente 1:2 o incluso inferior a aproximadamente 1:3 (p. ej., de aproximadamente 4:1 a aproximadamente 1:5 o de aproximadamente 3:2 a aproximadamente 1:2). Para una producción típica a escala comercial, el volumen de la solución eluyente que incluye ácido nítrico y sal nitrato puede ser de al menos aproximadamente 50 ml, al menos aproximadamente 100 ml, al menos aproximadamente 150 ml o de aproximadamente 50 ml a aproximadamente 1 L o de aproximadamente 100 ml a aproximadamente 750 ml.

La extracción de molibdeno-99 se realiza en un procedimiento de extracción de dos pasos en el que se utilizan dos soluciones de elución separadas para eliminar el molibdeno-99. Una solución de elución es una solución eluyente que contiene ácido nítrico y la segunda es una solución eluyente que contiene hidróxido. La solución que contiene ácido nítrico se puede poner en contacto con los medios con molibdeno-99 adsorbido antes que la solución eluyente que contiene hidróxido o, como en otras realizaciones, después de la solución eluyente que contiene hidróxido.

Cabe señalar que las realizaciones de los procedimientos de extracción que usan ácido nítrico e hidróxido se describen generalmente en el presente documento como procedimientos de extracción en dos pasos. Sin embargo, cabe señalar que en algunas realizaciones se utiliza un proceso de extracción de un solo paso en el que la solución eluyente que contiene ácido nítrico y la solución eluyente que contiene hidróxido son la misma solución.

La concentración del ácido nítrico en la solución que contiene ácido nítrico puede ser al menos aproximadamente 0,5 M o al menos aproximadamente 1 M, al menos aproximadamente 2 M o al menos aproximadamente 3 M (p. ej., de aproximadamente 0,5 M a aproximadamente 8 M, de aproximadamente 1 M a aproximadamente 6 M o de aproximadamente 3 M a aproximadamente 5 M).

La razón de la masa de la solución eluyente que contiene ácido nítrico con respecto a la masa de molibdeno-99 cargada en la columna puede ser inferior a aproximadamente 4:1, inferior a aproximadamente 2:1, inferior a aproximadamente 3:2, inferior a aproximadamente 1:1, inferior a aproximadamente 1:2 o incluso inferior a aproximadamente 1:3 (p. ej., de aproximadamente 4:1 a aproximadamente 1:5 o de aproximadamente 3:2 a aproximadamente 1:2). Para una producción típica a escala comercial, el volumen de la solución eluyente que incluye ácido nítrico puede ser de al menos aproximadamente 25 ml, al menos aproximadamente 50 ml o al menos aproximadamente 100 ml (p. ej., de aproximadamente 50 ml a aproximadamente 1 L, de aproximadamente 50 ml a aproximadamente 500 ml o de aproximadamente 100 ml a aproximadamente 300 ml).

El hidróxido en la solución eluyente que contiene hidróxido se puede seleccionar del grupo que consiste en hidróxidos de metales alcalinos o alcalinotérreos. En algunas realizaciones, el hidróxido es un hidróxido alcalino o se selecciona entre hidróxido de sodio e hidróxido de potasio. En algunas realizaciones, la concentración del hidróxido es al menos aproximadamente 0,1 M, al menos aproximadamente 0,5 M, al menos aproximadamente 1 M o menos de aproximadamente 6 M o menos de aproximadamente 5 M (p. ej., de aproximadamente 0,1 M a aproximadamente 6 M, de aproximadamente 0,5 M a aproximadamente 6 M o de aproximadamente 1 M a aproximadamente 3 M).

La razón de la masa de la solución eluyente que contiene hidróxido con respecto a la masa de molibdeno-99 cargada en la columna puede ser inferior a aproximadamente 4:1, inferior a aproximadamente 2:1, inferior a aproximadamente 3:2, inferior a aproximadamente 1:1, inferior a aproximadamente 1:2 o incluso inferior a aproximadamente 1:3 (p. ej., de aproximadamente 4:1 a aproximadamente 1:5 o de aproximadamente 3:2 a aproximadamente 1:2). Para la producción típica a escala comercial, el volumen de hidróxido en la solución eluyente que contiene hidróxido puede ser de al menos aproximadamente 25 ml, al menos aproximadamente 50 ml o al menos aproximadamente 100 ml (p. ej., de aproximadamente 50 ml a aproximadamente 100 ml, de 50 aproximadamente ml a aproximadamente 500 ml o de aproximadamente 100 ml a aproximadamente 300 ml).

Cada solución sucesiva de ácido nítrico e hidróxido puede extraer al menos aproximadamente 25% del molibdeno-99 o al menos aproximadamente 30%, al menos aproximadamente 35% o incluso al menos aproximadamente 40% del molibdeno-99 en los medios de intercambio aniónico.

Después de la elución, el molibdeno-99 extraído puede procesarse adicionalmente eliminando el molibdeno-99 de la solución (p. ej., lavado, secado y/o sublimación en uno o más ciclos). El molibdeno-99 extraído puede ser absorbido por una matriz adecuada (p. ej., resina o solución disolvente). En algunas realizaciones, el eluato de molibdeno-99 extraído de la columna no se purifica adicionalmente (es decir, no se realizan más procedimientos de purificación en columna ni otros pasos de purificación antes de que el molibdeno-99 se absorba en su matriz).

Comparado con los métodos convencionales para eluir molibdeno-99 de columnas de intercambio aniónico, el método de la presente divulgación tiene varias ventajas. En particular, se puede observar una mejora en el rendimiento de molibdeno-99, incluso con menores volúmenes de eluyente en comparación con el uso de ácido nítrico solo.

Ejemplos

Los procedimientos de la presente divulgación se ilustran adicionalmente mediante los siguientes ejemplos. Estos Ejemplos no deben verse en un sentido limitante.

Ejemplo comparativo 1: Comparación de los rendimientos de elución de molibdeno del eluyente de ácido nítrico frente al eluyente que comprende ácido nítrico y nitrato de potasio

Se cargó molibdeno en una solución de carga acuosa de NaOH (1 M) (31 ml con 100 ppm de molibdeno) en una columna que contenía 1-2 gramos de una resina de intercambio aniónico fuerte (AG1-X4; Bio-Rad (Hercules,

California)). La columna se eluyó con ácido nítrico 4 M (38,5 ml). Se realizó otra ronda de elución siendo el eluyente una combinación de ácido nítrico 0,1 M y nitrato de potasio 4 M. Se realizó una tercera ronda siendo el eluyente una combinación de HNO_3 0,1 M y nitrato de potasio 4 M; sin embargo, el volumen de elución fue la mitad del de la primera ronda y la segunda ronda. Los resultados de las rondas se muestran en la Tabla 1 a continuación:

Tabla 1: Elución de molibdeno con varios eluyentes

Eluyente	HNO_3 (4M)	HNO_3 (0,1M) y KNO_3 (4M)	Medio volumen de HNO_3 (0,1M) y KNO_3 (4M)
Porcentaje de Molibdeno Eluido	44%	86%	79%

Como se puede observar en la Tabla 1, el uso de nitrato de potasio aumentó en gran medida la cantidad de molibdeno eluido con casi el doble de molibdeno eluido con el eluyente HNO_3 (0,1 M) y KNO_3 (4 M). La reducción del volumen de elución en 50% dio como resultado una recuperación suficiente eliminando la mitad del volumen de eluyente aproximadamente 80% más de molibdeno que el eluyente que solo contenía HNO_3 (4 M). Aunque se eluyó el molibdeno natural, los resultados son indicativos del rendimiento con el isótopo molibdeno-99.

Ejemplo 1: Comparación de los rendimientos de elución de molibdeno del eluyente ácido nítrico frente a varios otros eluyentes

Se cargó molibdeno (80-100 mg) en una solución de carga acuosa de NaOH (1 M) (800 ml con aproximadamente 100 ppm de molibdeno) en una columna a escala comercial (65 ml) que contenía una resina de intercambio aniónico fuerte (AG1-X4) (55 g). La columna se eluyó con 500 ml de ácido nítrico (4M). Se realizaron rondas de elución adicionales con el eluyente que incluía ácido nítrico y nitrato de sodio o potasio (algunas eluciones a la mitad del volumen).

Estas rondas no son según la invención. Otra ronda, según la invención, implicó una primera extracción con ácido nítrico (200 ml) seguida de una segunda extracción con hidróxido de sodio (200 ml). Los resultados de las rondas se muestran en la Tabla 2 a continuación:

Tabla 2: Elución de molibdeno con varios eluyentes

Eluyente	HNO_3 (4M) *	HNO_3 (0,1M) y $NaNO_3$ (4M) *	HNO_3 (0,1M) y KNO_3 (4M) *	HNO_3 (0,1M) y $NaNO_3$ (2M) *	HNO_3 (4M) y NaOH (2M)
Volumen de Elución (ml)	500	250	500	250	400
Porcentaje de Molibdeno Eluido	68%	95%	91%	99,5%	47% para HNO_3; 43% NaOH (90% total)

* no según la invención

Como se muestra en la Tabla 2, el uso de nitrato de sodio o potasio dio como resultado un aumento de 33% o más en la cantidad de molibdeno que se extrajo con respecto al ácido nítrico solo. La solución de nitrato de potasio 2M fue tan eficaz para eliminar el molibdeno como la solución de nitrato de potasio 4M, lo que sugiere que el uso de nitrato más de 2M puede no mejorar el rendimiento de molibdeno. El uso de HNO_3 y NaOH sucesivamente dieron como resultado un aumento de aproximadamente 32% en el molibdeno extraído con respecto al ácido nítrico solo. Aunque se eluyó el molibdeno natural, los resultados son indicativos del rendimiento con el isótopo molibdeno-99.

Como se emplea en el presente documento, se pretende que el término "aproximadamente", cuando se utiliza junto con rangos de dimensiones, concentraciones, temperaturas u otras propiedades o características físicas o químicas, cubra las variaciones que pueden existir en los límites superior y/o inferior de los rangos de las propiedades o características, incluidas, por ejemplo, las variaciones resultantes del redondeo, la metodología de medición u otra variación estadística.

Al introducir elementos de la presente divulgación o la realización o las realizaciones de la misma, se pretende que los artículos "un", "uno", "una", y "el" y "la" signifiquen que hay uno o más de los elementos. Se pretende que los términos "que comprende", "que incluye", "que contiene" y "que tiene" sean inclusivos y signifiquen que puede haber elementos adicionales además de los elementos enumerados.

Dado que se pueden realizar varios cambios en las construcciones y métodos anteriores sin apartarse del alcance de la divulgación como se define en las reivindicaciones adjuntas, se pretende que todo lo contenido en la descripción anterior y mostrado en los dibujos adjuntos se interprete como ilustrativo y no en un sentido limitante.

REIVINDICACIONES

1. Un método para purificar una corriente de alimentación de molibdeno-99 que comprende molibdeno-99, comprendiendo el método:

poner en contacto la corriente de alimentación de molibdeno-99 con medios de intercambio aniónico para adsorber molibdeno-99 sobre los medios;
poner en contacto los medios con molibdeno-99 adsorbido con una solución eluyente que contiene ácido nítrico; y
poner en contacto los medios con molibdeno-99 adsorbido con una solución eluyente que contiene hidróxido.

2. El método según se establece en la reivindicación 1, en donde la corriente de alimentación de molibdeno-99 comprende al menos 90% en peso de molibdeno-99 en base seca o al menos 95% en peso o al menos 99% de molibdeno-99 en base seca.

3. El método según se establece en la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde la solución eluyente que contiene ácido nítrico comprende adicionalmente una sal nitrato.

4. El método según se establece en la reivindicación 3, en donde la sal nitrato se selecciona del grupo que consiste en nitrato de sodio y nitrato de potasio.

5. El método según se establece en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde la solución eluyente que contiene ácido nítrico está separada de la solución eluyente que contiene hidróxido, poniéndose en contacto la solución eluyente que contiene ácido nítrico con los medios con molibdeno-99 adsorbido antes que la solución eluyente que contiene hidróxido.

6. El método según se establece en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde la solución eluyente que contiene ácido nítrico está separada de la solución eluyente que contiene hidróxido, poniéndose en contacto la solución eluyente que contiene hidróxido con los medios con molibdeno-99 adsorbido antes que la solución eluyente que contiene ácido nítrico.

7. El método según se establece en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde la corriente de alimentación de molibdeno-99 comprende iones molibdenilo-99.

8. El método según se establece en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde la corriente de alimentación de molibdeno-99 es una solución acuosa de hidróxido.

9. El método según se establece en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde la razón de la masa de la solución eluyente que contiene ácido nítrico con respecto a la masa de molibdeno-99 en la corriente de alimentación de molibdeno-99 es inferior a 4:1, inferior a 2:1, inferior a 3:2, inferior a 1:1, inferior a 1:2, inferior a 1:3, de 4:1 a 1:5 o de 3:2 a 1:2.

10. El método según se establece en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en donde la razón de la masa de la solución eluyente que contiene hidróxido con respecto a la masa de molibdeno-99 en la corriente de alimentación de molibdeno-99 es inferior a 4:1, inferior a 2:1, inferior a 3:2, inferior a 1:1, inferior a 1:2, inferior a 1:3, de 4:1 a 1:5 o de 3:2 a 1:2.

11. El método según se establece en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en donde la razón de la masa de la suma de la solución eluyente que contiene hidróxido de ácido nítrico y la solución eluyente que contiene hidróxido con respecto a la masa de molibdeno-99 en la solución de alimentación de molibdeno-99 es inferior a 4:1, inferior a 2:1, inferior a 3:2, inferior a 1:1, inferior a 1:2, inferior a 1:3, de 4:1 a 1:5 o de 3:2 a 1:2.