

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 553 743**

51 Int. Cl.:

G21G 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.08.2011 E 11748800 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.10.2015 EP 2601656**

54 Título: **Proceso de purificación para Mo-99**

30 Prioridad:

04.08.2010 GB 201013142

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

11.12.2015

73 Titular/es:

**MALLINCKRODT LLC (100.0%)
675 McDonnell Boulevard
Hazelwood, MO 63042, US**

72 Inventor/es:

BARBOSA, LUIS A.M.M.

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 553 743 T3

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

Proceso de purificación para Mo-99

5 Campo de la invención

La invención se refiere a un proceso de purificación. En particular, aunque no exclusivamente, se refiere a un proceso para purificar Mo-99 a partir de otros materiales presentes tras la producción de Mo-99 a partir de uranio en los reactores de fisión nuclear.

10 El tecnecio-99m es el radiometal más ampliamente usado para el diagnóstico médico y aplicaciones terapéuticas. Tc-99m se prepara por medio de desintegración de Mo-99 en los denominados generadores de Tc-99m. Normalmente, dicho generador comprende una solución acuosa de Mo-99 sobre un adsorbente (normalmente alúmina). Tras la desintegración de Mo-99 hasta Tc-99m, que tiene menor afinidad por la alúmina, se puede eluir
15 Tc-99m, normalmente usando una solución salina. Para la preparación de los generadores de Tc-99m, por tanto, resulta esencial una fuente de Mo-99 de alta pureza.

Con el fin de obtener Mo-99 de elevada actividad específica, comúnmente se prepara por medio de fisión inducida por neutrones de una diana de U-235. Normalmente, U-235 está presente en forma de diana de papel metalizado de metal-U, o estructuras tubulares de U y Al. Alternativamente, U puede estar en solución en un medio ácido (tal como
20 dianas de uranio líquido, o en forma de solución de uranio usada como combustible en un reactor homogéneo). La reacción de fisión conduce a una proporción de U-235 que se convierte en Mo-99, pero también conduce a un número de impurezas en la salida del reactor. De forma diversa, estas impurezas incluyen Cs, Sr, Ru, Zr, Te, Ba, Al y metales alcalinos y alcalino térreos.

Se conoce la separación de Mo-99 deseado a partir de dichas impurezas por medio de disolución de la diana irradiada en un medio alcalino, posteriormente sometiendo a una serie de separaciones cromatográficas sobre diversos adsorbentes (AA. Sameh y H.J. Ache, Radiochim. Acta 41 65 (1987)). No obstante, dicho procedimiento de separación no se ha empleado cuando la diana irradiada se disuelve en un medio ácido, y tampoco cuando Mo-99
30 está presente en el medio ácido de una diana líquida o el combustible de un reactor homogéneo. De hecho, el proceso de Sameh y Ache comprende al menos una etapa que es probable que resulte incompatible con una corriente de ácido, cuyo resultado es la pérdida de una gran proporción de Mo-99 deseado. Mientras que la mayoría de los procesos conocidos para la producción de Mo-99 emplean la disolución alcalina de la diana irradiada, un proceso particular (empleado en los laboratorios de Chalk River Nuclear por Atomic Energy of Canada Limited (AECL)) usa la disolución ácida de dianas de U-Al tubulares, seguido de la absorción de Mo-99 sobre la alúmina
35 antes de las etapas de purificación posteriores. El problema con este método, no obstante, es que Mo-99 tiene una retención muy elevada sobre la alúmina, y además tienen lugar pérdidas cuando se recupera Mo-99 para la purificación posterior. Además, la alúmina puede lixiviar impurezas químicas en la fracción eluida de Mo-99.

Otro proceso que implica la disolución ácida de la diana irradiada es el proceso Cintichem modificado (llevado a cabo en BATAN, Indonesia) desarrollado por Argonne National Laboratory. Este proceso, basado en el proceso Cintichem, emplea disolución de ácido nítrico de una diana de papel metalizado de metal de U. Posteriormente, se precipita Mo-99 con bezoína-alfa-oxima. Tras lavar el precipitado con ácido nítrico, se disuelve en NaOH. A continuación, se hace pasar la solución resultante a través de una columna de carbón vegetal revestida con plata.
45 Se piensa que este proceso puede no resultar apropiado para su uso en una escala de producción de Mo-99 grande.

El documento US 6337055 describe un material sorbente para la extracción de Mo-99 a partir de un reactor homogéneo, comprendiendo el sorbente dióxido de titanio hidratado e hidróxido de circonio. El Mo-99 adsorbido se desorbe y se eluye usando una solución de una base débil (solución de amoníaco). El documento US 5681974 describe un sorbente que contiene componentes de óxido, haluro y alcóxido de circonio para la preparación de generadores de Tc-99m. Los adsorbentes similares se describen en los documentos JP 10030027, KR 20060017047 y JP 2004150977. En el documento RU2288516, se usa un adsorbente que contiene Zr para adsorber Mo-99 a partir de soluciones de aleaciones de U irradiadas en ácido nítrico, después de lo cual se desorbe usando NaOH o KOH. No obstante, no se describe la purificación posterior de Mo-99.
50

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un proceso para purificar Mo-99 a partir de una solución ácida obtenida por medio de disolución de una diana sólida irradiada que comprende uranio en un medio ácido, o a partir de una solución ácida que comprende uranio y que se ha irradiado previamente en un reactor nuclear, o a partir de una solución ácida que comprende uranio y que se ha usado como combustible de reactor en un reactor homogéneo, comprendiendo el proceso poner en contacto la solución ácida con un adsorbente que comprende un óxido de circonio, hidróxido de circonio, alcóxido de circonio, haluro de circonio y/o haluro de óxido de circonio, y eluir Mo-99 a partir del adsorbente usando una solución de una base fuerte, sometándose la fracción eluida a un proceso de purificación posterior que implica una etapa de recuperación cromatográfica de Mo-99 de base alcalina sobre un material de intercambio aniónico, donde Mo-99 se eluye, al menos parcialmente, a partir del material de intercambio aniónico usando una solución de un ácido, y donde Mo-99 eluido en la solución se adsorbe posteriormente sobre un material que contiene MnO₂, por ejemplo una columna cromatográfica que contiene
65

material de MnO_2 .

De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un proceso para purificar Mo-99 a partir de una solución que comprende uranio y que se ha irradiado previamente en un reactor nuclear, o a partir de una solución ácida que comprende uranio y que se ha usado como combustible de reactor en un reactor homogéneo, o a partir de una solución ácida obtenida por medio de disolución de una diana sólida de papel metalizado de metal de uranio irradiado en un medio ácido, comprendiendo el proceso poner en contacto la solución ácida con un adsorbente que comprende un óxido de circonio, hidróxido de circonio, alcóxido de circonio, haluro de circonio y/o haluro de óxido de circonio, y eluir Mo-99 a partir del adsorbente usando una solución de una base fuerte, sometiendo posteriormente la fracción eluida a un proceso de purificación posterior que implica la etapa de recuperación cromatográfica de Mo-99 de base alcalina sobre un material de intercambio aniónico, donde Mo-99 se eluye, al menos parcialmente, a partir del material de intercambio aniónico usando una solución de un ácido, y donde Mo-99 eluido en la solución se adsorbe posteriormente sobre un material que contiene MnO_2 , por ejemplo una columna cromatográfica que contiene material de MnO_2 .

En el primer y/o segundo aspectos, se puede llevar a cabo la etapa de recuperación cromatográfica de Mo-99 como primera etapa de dicho proceso de purificación posterior.

Para los fines de la presente divulgación, se pretende que la expresión "base fuerte" signifique una base que tiene un pK_b (calculado a 298K) de 4,5 o menor, tal como 3,5 o menor, preferentemente 3,0 o menor, más preferentemente 2,0 o menor, o 1,0 o menor. Las bases preferidas incluyen NaOH y KOH, particularmente NaOH. Las concentraciones preferidas de la solución de base fuerte puede ser de 0,1-5 M, preferentemente de 0,5-5 M, más preferentemente 0,5-2,5 M, del modo más preferido de 1-2 M.

Se pretende que la expresión "de base alcalina", según se usa en la presente memoria, signifique una etapa que se lleva a cabo en una solución con un pH mayor de 7,0. Preferentemente, el pH de la solución para la etapa de recuperación cromatográfica de Mo-99 de base alcalina es de 8 o más, 9 o más, 10 o más, 11 o más, 12 o más o 13 o más.

Durante la disolución de ácido de las dianas de U de enriquecimiento elevado o bajo (dispersado o no dispersado/papel metalizado de metal de U), o tras la irradiación de una solución de U con enriquecimiento elevado o bajo, o tras el uso de la solución de U como combustible en los reactores homogéneos, U y otros productos de fisión están presentes juntos con Mo-99 deseado en la corriente de proceso. Se puede retirar Mo-99 a partir de esta corriente de ácido por medio del uso de los sorbentes anteriores que contienen circonio. Por ejemplo, se pueden usar los sorbentes comercialmente disponibles en Thermoxid Scientific & Production Co. (Zorechnyi, Federación Rusa), comercializado como Radsorb e Isosorb, y descritos en el documento US 6337055. Alternativamente, se pueden usar uno o más sorbentes que contienen circonio descritos en el documento US 5681974, JP 10030027, KR 20060017047 y JP 2004150977. Tras la etapa de adsorción, Mo-99 se puede eluir posteriormente a partir del sorbente por medio del uso de una solución concentrada de forma apropiada de base fuerte (tal como NaOH). Esta corriente alcalina, que contiene Mo-99 y ciertos otros isótopos de fisión, se puede purificar posteriormente usando un proceso de separación de base alcalina, por ejemplo, usando las etapas descritas en el documento anteriormente referenciado de Sameh y Ache.

En algunas realizaciones, el adsorbente para su uso en el proceso de la invención también comprende un óxido de titanio y/o óxido de silicio. Dichos óxidos proporcionan al material adsorbente propiedades mecánicas y químicas mejoradas. En particular, se mejora la resistencia mecánica y química del material en solución ácida. Dichos materiales también tienen resistencia frente a la radiación mejorada. En realizaciones particulares, el compuesto de circonio está presente a una concentración de un 5 a un 70 % en moles de la composición de adsorbente. En dichas realizaciones, el compuesto de circonio puede, en particular, estar presente en un 5 a 50, o 5 a 40 % en moles.

En determinadas realizaciones, el adsorbente está en forma de microgránulos. De manera apropiada, los microgránulos pueden tener un tamaño de alrededor de 0,1 a 2 mm, para proporcionar un equilibrio entre el elevado área superficial adsorbente, facilidad de flujo de la solución de Mo-99 a través un recipiente que contiene el sorbente, y de manera apropiada elevada resistencia mecánica. El área superficial específica del sorbente puede estar dentro del intervalo de 100 a 350 m^2/g .

En realizaciones preferidas, la solución de combustible del reactor (a partir del reactor homogéneo) se pone en contacto con el adsorbente en una columna rellena con el adsorbente y provista de una entrada y una salida. Dicha configuración permite la construcción de un circuito de fluido. Similarmente, esto se puede aplicar para la solución ácida que resulta de la digestión ácida (por ejemplo, HNO_3) de dianas sólidas de U, normalmente por medio de una unidad de disolución, o para la solución de ácido que contiene U usada como diana convencional en un reactor nuclear. Se hace pasar el producto de fisión/U desde la unidad de disolución o un recipiente de recogida a la entrada de la columna adsorbente. Se pueden eluir las impurezas no adsorbidas a partir de la salida en la corriente ácida y se pueden transferir al residuo. A continuación, la columna puede estar en conexión fluida en su entrada con una fuente de base fuerte, que permite la elución de Mo-99. La fracción de Mo-99 eluida en la solución básica fuerte se somete posteriormente a un proceso de purificación que implica, preferentemente como primera etapa, una etapa de

recuperación cromatográfica de Mo-99 de base alcalina sobre un material de intercambio aniónico. El proceso también puede utilizar recipientes de purificación adicionales (tal como adsorbentes de intercambio iónico adicionales) para la purificación adicional de Mo-99, por ejemplo por medio del uso del enfoque anterior de Sameh y Ache.

5 En algunas realizaciones, tras el paso de la solución de combustible o solución de producto de reactor ácido a través de la columna rellena de adsorbente, se lava la columna con una solución de ácido diluido (por ejemplo, HNO_3 o H_2SO_4), dependiendo de la composición de solución de ácido original y/o lavada con agua.

10 Tras la elución de Mo-99, el proceso incluye la etapa adicional de poner en contacto la fracción eluida de Mo-99 en la solución básica fuerte con un material de intercambio aniónico. Como se ha mencionado anteriormente, el proceso de la presente invención proporciona la posibilidad de purificar una solución de producto de reactor de base ácida que contiene Mo-99 usando un enfoque de base alcalina, por ejemplo, el de Sameh y Ache. Una vez que la solución de Mo-99 en la base fuerte se ha eluido a partir del adsorbente que contiene circonio, se puede tratar posteriormente usando un proceso de base alcalina. Mediante la puesta en contacto de la solución básica fuerte de Mo-99 con un material apropiado de intercambio aniónico, se puede adsorber Mo-99, al tiempo que no se retienen las impurezas catiónicas (por ejemplo, Cs, Sr, Ba) y se pueden lavar. Un material apropiado de intercambio aniónico es AG 1x8 (por ejemplo, malla metálica 200-400) o AG MP1 (ambos disponibles en Bio-Rad), sobre el cual se puede adsorber de forma cuantitativa Mo-99.

20 Se puede lavar el material de intercambio aniónico con una base fuerte adicional, por ejemplo, NaOH. Posteriormente, se eluye, al menos parcialmente, Mo-99 a partir del material de intercambio aniónico con una solución de ácido (tal como ácido nítrico, por ejemplo, 3-4 M).

25 Posteriormente, Mo-99 eluido se pone en contacto con un recipiente (por ejemplo, una columna) que contiene material de MnO_2 , que adsorbe Mo-99. Posteriormente, esta columna cromatográfica se puede lavar con soluciones ácidas, por ejemplo, $\text{HNO}_3/\text{KNO}_3$ y K_2SO_4 . Posteriormente, el material MnO_2 se disuelve preferentemente con una solución de H_2SO_4 altamente concentrada (9 M) que contiene iones de tiocianuro (por ejemplo, a partir de tiocianuro de amonio) y un agente reductor (por ejemplo, sulfito de sodio y/o yoduro de potasio) con el fin de formar el complejo $[\text{Mo}(\text{SCN})_6]^{3-}$. La solución que contiene este complejo se puede poner posteriormente en contacto con un material de intercambio aniónico que comprende grupos iminoadiacetato. Los materiales de intercambio iónico que portan estos grupos tienen una afinidad muy elevada por el complejo Mo, al tiempo que otros productos de fisión que acompañan a Mo tienen una afinidad mucho menor. Un material apropiado de intercambio iónico para esta etapa es Chelex-100 (por ejemplo, malla metálica 100-200 y/o 200-400). Posteriormente, se puede lavar el material de intercambio iónico que tiene el complejo Mo adsorbido con ácido sulfúrico que contiene tiocianuro, ácido sulfúrico y posteriormente agua. A continuación, se puede eluir Mo-99 a partir del material de intercambio iónico usando una solución de una base fuerte, por ejemplo, NaOH (por ejemplo, 1 M), que preferentemente contiene peróxido de hidrógeno H_2O_2 . La etapa de purificación que usa el material de intercambio iónico que comprende grupos iminodiacetato se puede llevar a cabo usando dos columnas cromatográficas, una cargada con Chelex-100 (malla metálica 100-200) y la otra con Chelex-100 (malla metálica 200-400).

45 Posteriormente, se puede introducir el Mo-99 eluido obtenido de este modo en un recipiente (por ejemplo, una columna) con un material apropiado de intercambio aniónico, por ejemplo AG 1x4 (por ejemplo, malla metálica 200-400) (disponible en Bio-Rad), sobre el cual se puede adsorber cuantitativamente Mo-99. Esta columna o columnas se lava/lavan con agua y una solución de NH_4OH antes de la elución con una solución concentrada de HNO_3 . Esta solución de Mo-99 purificada se puede calentar posteriormente hasta sequedad, después de lo cual se pueden sublimar los sólidos restantes, por ejemplo a 800 °C. Posteriormente, se pueden solubilizar los sólidos sublimados en una solución alcalina (por ejemplo, NH_4OH , por ejemplo 4 M). Se transfiere la solución a un matraz, que contiene una solución de NaOH (alrededor de 1 M) y NaNO_3 (alrededor de 5 M). Se somete a ebullición la solución resultante para retirar NH_3 y ajustar el volumen final de la solución de reparto. A continuación, se puede purificar Mo-99 en un recipiente que contiene adsorbente (por ejemplo, alúmina), con el fin de proporcionar un generador de Tc-99m.

50 Ahora se describe la invención con más detalle por medio únicamente del ejemplo, y con referencia a la Figura 1 adjunta, que muestra un diagrama esquemático de un proceso de la invención.

55 La invención proporciona la purificación de una corriente ácida que contiene Mo-99 obtenido directamente a partir de la disolución de dianas de U con enriquecimiento elevado o bajo (papel metalizado de metal U/dispersado o no dispersado) o a partir de la irradiación de una solución de U con enriquecimiento elevado o bajo en reactores nucleares, o a partir de una solución de U con enriquecimiento elevado o bajo usada como combustible en un reactor homogéneo, por medio de retirada de U y otros determinados productos de mediante el uso de un proceso de base alcalina. La invención conduce a un producto de Mo-99 con elevada pureza, como se podría encontrar en el proceso completo convencional de separación de base alcalina, pero abre la posibilidad de usar dicho proceso de separación con corrientes de salida basadas en ácido.

65 Las resinas de Thermaxid exhiben una afinidad extraordinariamente elevada por las especies de molibdeno en soluciones ácidas en presencia de U, otros productos de fisión y nitratos o sulfatos. Se sabe que Mo-99 se eluye a

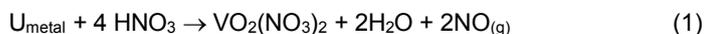
partir de esta resina con una solución de amoníaco (documento US 6337055) con elevada pureza. Si, en lugar de ello, esta elución se lleva a cabo con una solución concentrada de forma apropiada de base fuerte, tal como NaOH (por ejemplo, 1-2 M), esta corriente se puede purificar de forma adicional por medio del empleo de parte o todas las etapas de separación de un proceso de base alcalina, por ejemplo, que se describe en la divulgación anteriormente referenciada de Sameh y Ache. La presente invención se basa en una manera no explorada de combinar dos procesos diferentes: i) la primera etapa de purificación de una corriente que se origina directamente a partir de una solución ácida de dianas de U con enriquecimiento elevado o bajo (papel metalizado de metal de U/dispersado o no dispersado) o tras la irradiación de una solución de U de enriquecimiento elevado o bajo en un reactor nuclear o partir de una solución ácida de U con enriquecimiento elevado o bajo como combustible en un reactor homogéneo; con ii) el esquema completo de un proceso de purificación de base alcalina.

Los adsorbentes apropiados para su uso de acuerdo con la invención incluyen Isosorb (Thermaxid-5 M, T-5 M o T-5) y Radsorb (Thermaxid-52 M, T-52 M o T-52), ambos disponibles en Thermaxid Scientific & Production Co.

15 Ejemplo 1 - Proceso de papel metalizado de U (uranio de bajo enriquecimiento):

Se disuelve una cantidad de papel metalizado de metal de U en una solución apropiada de ácido nítrico, como se describe en la ecuación química (1), con el fin de producir una concentración final de uranio de 150 g/l y un pH final de la solución igual a 1.

20



La solución final, que contiene Mo-99 entre otros isótopos, se hace pasar a través de una columna que contiene uno de los sorbentes que contienen Zr, por ejemplo Thermaxid T52 (véase la Figura 1 - "extracción de Mo-99"). Con un flujo apropiado, la carga de esta columna puede tardar de alrededor de 30 a 60 minutos. Tras el procedimiento de carga, Mo-99 queda retenido en la columna junto con las trazas de U y los otros productos de fisión. Posteriormente, se lava la columna con una solución de HNO₃ 0,1 M, con un volumen correspondiente a ocho volúmenes de lecho de columna. Esto lava casi todo U retenido en la columna. La elución de Mo-99 se puede llevar a cabo usando una solución de NaOH (1 M), preferentemente usando un máximo de tres volúmenes de lecho de columna. Posteriormente, se purifica esta solución usando el sorbente AG 1X8, como se describe por parte de Sameh y Ache.

30

Ejemplo 2 - Reactor homogéneo

Tras las consideraciones de la patente de Estados Unidos 5596611, una solución de nitrato de uranilo (UO₂(NO₃)₂) sigue el mismo procedimiento que se describe en el Ejemplo 1. Debido a que la solución de reactor homogéneo es normalmente mucho mayor que la que se obtiene por medio de disolución de las dianas de papel metalizado de metal de U, se ajusta la velocidad de flujo de la solución para mantener el tiempo de carga total. Las etapas tanto de lavado como de elución son equivalentes para ambos métodos.

40

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para purificar Mo-99 a partir de una solución ácida que se obtiene disolviendo una diana sólida irradiada que comprende uranio en un medio ácido, o a partir de una solución ácida que comprende uranio y que se ha irradiado previamente en un reactor nuclear, o a partir de una solución ácida que comprende uranio y que se ha usado como combustible de reactor en un reactor homogéneo, o a partir de una solución ácida obtenida disolviendo una diana sólida de papel metalizado de metal de uranio irradiado en un medio ácido, comprendiendo el proceso poner en contacto la solución ácida con un adsorbente que comprende un óxido de circonio, hidróxido de circonio, alcóxido de circonio, haluro de circonio y/o haluro de óxido de circonio, y eluir Mo-99 a partir del adsorbente usando una solución de una base fuerte, sometiéndose a continuación la fracción eluida a un proceso de purificación posterior que implica una etapa de recuperación cromatográfica de Mo-99 de base alcalina sobre un material de intercambio aniónico, donde Mo-99 se eluye, al menos parcialmente, a partir del material de intercambio aniónico usando una solución de un ácido, y donde Mo-99 eluido en la solución de ácido se adsorbe posteriormente sobre el material que contiene MnO₂, por ejemplo una columna cromatográfica que contiene material de MnO₂.
2. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1, donde el adsorbente también comprende un óxido de titanio y/o óxido de silicio, donde el compuesto de circonio está presente opcionalmente a una concentración de un 5 a un 70 % en moles de la composición de adsorbente.
3. Un proceso de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, donde el adsorbente está en forma de microgránulos.
4. Un proceso de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, donde la solución ácida se pone en contacto con el adsorbente en una columna rellena con el adsorbente y provista de una entrada y una salida, donde, tras el paso de la solución ácida a través de la columna rellena con adsorbente, se lava opcionalmente la columna con una solución de ácido diluido y/o se lava con agua.
5. Un proceso de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, donde la base fuerte es hidróxido de sodio.
6. Un proceso de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, donde el material de MnO₂ que porta el adsorbato de Mo-99 se disuelve posteriormente usando una solución de ácido fuerte, por ejemplo, una solución altamente concentrada, tal como de alrededor de 9 M, de H₂SO₄, que contiene, o a la cual se añaden, iones tiocianuro y un agente reductor, con el fin de formar el complejo [Mo(SCN)₆]³⁻, poniéndose posteriormente la solución de este complejo en contacto con un material de intercambio iónico que comprende grupos iminodiacetato.
7. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 6, donde Mo-99 se eluye a partir del material de intercambio iónico que comprende grupos iminodiacetato usando una solución de una base fuerte, conteniendo preferentemente la solución agua oxigenada, donde Mo-99 eluido se introduce posteriormente, de manera opcional, en una columna cromatográfica que contiene un material de intercambio aniónico, a partir de la cual se eluye posteriormente usando una solución ácida, por ejemplo una solución concentrada de ácido nítrico.
8. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 7, donde la solución ácida eluida se calienta hasta sequedad, donde el producto seco resultante se sublima opcionalmente a 800 °C y posteriormente se solubiliza en solución alcalina.

Figura 1

