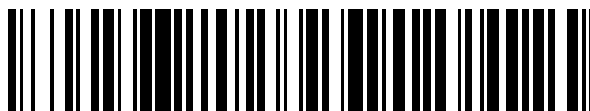


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 640 451**

51 Int. Cl.:

G21G 1/08

(2006.01)

G21G 1/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.10.2011** **PCT/US2011/055041**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.04.2012** **WO12048077**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.10.2011** **E 11773620 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.07.2017** **EP 2625695**

54 Título: **Procedimiento para la extracción de Cs-137 de una solución ácida**

30 Prioridad:

07.10.2010 GB 201016935

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

03.11.2017

73 Titular/es:

**MALLINCKRODT NUCLEAR MEDICINE 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 2 640 451 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

Procedimiento para la extracción de Cs-137 de una solución ácida

- 5 La presente invención se refiere a un procedimiento de extracción para extraer Cs-137 de otros materiales presentes tras la producción de Mo-99 a partir de uranio de reactores de fisión nuclear.

10 El tecnecio-99m es un radio-metal cuyo uso está muy extendido para aplicaciones terapéuticas y de diagnóstico médico. Tc-99m se prepara por desintegración de Mo-99 en los llamados generadores de Tc-99m. Dichos generadores comprenden normalmente una solución acuosa de Mo-99 cargada sobre un material adsorbente (normalmente alúmina). Tras la desintegración del Mo-99 en Tc-99m, que tiene una menor afinidad para la alúmina, se puede eluir el Tc-99m, normalmente, utilizando una solución salina. Para la preparación de generadores de Tc-99m, es esencial por lo tanto una fuente de Mo-99 de alta pureza.

15 Para obtener Mo-99 con una alta actividad específica, por lo general, se prepara por fisión inducida por neutrones de un blanco de U-235. U-235 está presente normalmente en forma de blanco de hoja de metal de U, o construcciones tubulares de U y Al. Alternativamente, el U puede estar en solución en un medio ácido (por ejemplo en blancos de solución de uranio o como la solución de uranio utilizada como combustible en un reactor homogéneo). La reacción de fisión conduce a la conversión de una proporción del U-235 en Mo-99, pero también produce una serie de impurezas en la salida de reactor. Dichas impurezas incluyen de forma diversa Cs, Sr, Ru, Zr, Te, Ba, Al y metales alcalinos y alcalinotérreos.

20 Cuando se produce Mo-99 a partir de la irradiación de blancos de sólidos o en solución de U-235, o a partir de una solución de U en un reactor homogéneo, se recoge el Mo-99 desde la salida del reactor y es necesario eliminar las corrientes residuales líquidas resultantes. Por otra parte, cuando se produce Mo-99 a partir de una solución de U en un reactor homogéneo, es posible reciclar la solución homogénea varias veces introduciéndola en el reactor después de la extracción de Mo-99 antes de su eliminación definitiva. Los medios convencionales para eliminar las corrientes residuales consisten en solidificación seguida de almacenamiento en un repositorio geológico.

30 La mayoría de los procedimientos conocidos para la producción de Mo-99 emplean un régimen de purificación que implica la disolución alcalina del blanco irradiado; a continuación, se somete la solución resultante a una serie de separaciones cromatográficas sobre diversos absorbentes para recoger el Mo-99 (Sameh y Ache, 1987).

35 Se ha desarrollado también una serie de procedimientos que utilizan la disolución ácida de los blancos de U irradiados. Chalk River Nuclear Laboratories (Atomic Energy of Canada Limited) utiliza una disolución ácida de blancos de U-Al tubulares y la purificación de Mo-99 se lleva a cabo utilizando un adsorbente de alúmina antes de las posteriores etapas de purificación. El proceso Cintichem modificado (realizado en BATAN, Indonesia), un proceso basado en el proceso Cintichem y desarrollado en Argonne National Laboratory, emplea una disolución en ácido nítrico de un blanco de hoja de metal U, seguido de precipitación de Mo-99 con benzoin-alfa-oxima.

40 El uso de reactores homogéneos para la producción de Mo-99 es bastante menos común. El instituto de Energía Nuclear de China (NPIC) ha desarrollado un reactor homogéneo acuoso (AHR por sus siglas en inglés). Dicho AHR utiliza solución de $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ o UO_2SO_4 como combustible y se extrae Mo-99 utilizando una o dos columnas de intercambio inorgánicas (Li et al., 2008).

45 El cesio (Cs) es uno de los elementos radioactivos clave presentes como contaminantes en la corriente residual. El isótopo radioactivo más común de Cs es Cs-137; éste se forma como producto de fisión durante la irradiación de U. Cs-137 tiene un periodo de semi-desintegración de 30,07 años. Este isótopo de larga vida es el principal contribuyente de la carga de calor y la dosis radiológica en los materiales residuales del reactor. La eliminación de Cs-137 de las corrientes residuales líquidas facilita un tratamiento y almacenamiento más favorable del volumen de residuos en el repositorio. Por otra parte, se ha observado que la acumulación de Cs-137 en soluciones de reactor homogéneo recicladas causa problemas en las etapas de extracción de Mo-99 posteriores. Por lo tanto, la eliminación de Cs-137 es una etapa de tratamiento importante de las corrientes de salida del reactor una vez que se ha extraído Mo-99 del mismo.

50 El molibdofosfato de amonio $(\text{NH}_4)_3\text{P}(\text{Mo}_3\text{O}_{10})_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (AMP) es un compuesto inorgánico cristalino amarillo que, según se ha demostrado, es altamente selectivo para el Cs (Smit y Van, 1958). Faubel y Ali (1986) han demostrado que AMP es superior a otros intercambiadores iónicos inorgánicos al eliminar Cs de soluciones que tienen altas concentraciones de ácido y sal (Faubel y Ali, 1986).

60 Sin embargo, para que AMP sea útil en la práctica para un tratamiento a gran escala, debe fijarse con un agente aglutinante, un sustrato o un soporte. Sebesta et al. (1997) han desarrollado una técnica para combinar AMP con un polímero de unión inerte orgánico, poliacrilonitrilo (PAN), para crear un adsorbente compuesto. Se ha preparado también un intercambiador iónico completamente inorgánico que comprende AMP por precipitación de AMP dentro de microesferas de aluminosilicato refractarias (AMP-C) (Tranter et al., 2009). Se ha demostrado que tanto AMP-PAN como AMP-C son adsorbentes eficaces para eliminar el Cs de los residuos de tanque ácidos concentrados del

Laboratorio Nacional de Ingeniería y Medioambiente de Idaho (INEEL) (Todd y Romanovskiy, 2005). Los residuos de tanque del INEEL comprenden numerosos componentes incluyendo Cs, Mo, Ca, Al, Fe, Hg y Na.

No obstante, ninguno de los documentos de la técnica anterior sugiere el uso de un adsorbente que comprenda AMP para la extracción de Cs de una solución de la que se ha recogido ya Mo.

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 para la extracción de Cs-137 de i) una solución ácida obtenida por disolución de un blanco sólido irradiado que comprende uranio, ii) una solución ácida que comprende uranio que ha sido irradiada previamente en un reactor nuclear, o iii) una solución ácida que comprende uranio que ha sido utilizado como combustible de reactor en un reactor homogéneo. La solución ácida i) puede obtenerse por disolución de un blanco sólido irradiado que comprende uranio en un medio ácido o un medio alcalino. Preferentemente, la solución ácida i) se obtiene por disolución de un blanco sólido irradiado que comprende uranio en un medio ácido. En los casos en los que se utiliza una disolución alcalina de blancos de uranio, se acidula después la solución resultante. Dicha etapa de acidulación puede tener lugar antes o después de la recogida de Mo-99; Si se lleva a cabo la recogida de Mo-99 utilizando por ejemplo adsorbentes que contienen zirconio, se realiza la acidulación antes de la recogida de Mo-99. El procedimiento comprende además una etapa de recogida de Mo-99 desde la solución i), ii) o iii) antes de poner en contacto dicha solución con el adsorbente que comprende AMP. Tal como se ha mencionado, si se realiza la recogida de Mo-99 utilizando la solución i) obtenida por disolución en ácido de los blancos de sólido, la solución i) será ácida. Si, por el contrario, se realiza la recogida de Mo-99 utilizando una solución obtenida por disolución alcalina de los blancos de sólido, la solución de la que se recoge Mo-99 será alcalina y ha de acidularse antes del contacto con el adsorbente de AMP. Es necesario, o al menos preferente, llevar a cabo la eliminación de Cs utilizando adsorbentes que comprenden AMP de corrientes residuales líquidas obtenidas a partir de la producción de Mo-99 una vez que se ha recogido Mo-99 de la corriente residual. No siendo así, el componente Mo presente en el material de AMP (es decir Mo frío) se puede lixiviar en la corriente que contiene el producto de Mo-99 deseado y contaminarla. Entonces será muy difícil separar el Mo-99 radioactivo del Mo frío.

La etapa de extracción de Mo-99 se puede llevar a cabo utilizando cualquier método de purificación de Mo conocido en la técnica, como por ejemplo el enfoque de Sameh y Ache que se ha mencionado. Otros métodos de purificación de Mo incluyen, sin limitarse a ellos, la extracción utilizando un adsorbente que comprende dióxido de titanio hidratado e hidróxido de zirconio, p.ej., para la extracción de Mo-99 desde un reactor homogéneo, tal como se describe en la patente estadounidense US 6337055. Otros métodos incluyen el uso de adsorbentes que contienen zirconio, como por ejemplo los que contienen óxido de zirconio, hidróxido de zirconio, alcóxido de zirconio, haluro de zirconio y/o haluro de óxido de zirconio, p.ej., para la extracción de Mo-99 desde soluciones obtenidas por disolución ácida de blancos de U, soluciones de U ácidas irradiadas o desde una solución de reactor homogéneo, tal como se describe en la solicitud co-pendiente número 1013142.3. Ciertos adsorbentes que contienen zirconio, como los que son a base de componentes de óxido, haluro o alcóxido de zirconio se describen en los documentos US 5681974, JP 10030027, KR 20060017047 y JP 2004150977.

Una vez eliminado Mo-99 de la corriente de salida del reactor, la corriente residual resultante puede ser ácida o básica (dependiendo de la técnica de extracción de Mo-99). Cuando se recoge Mo-99 utilizando un procedimiento de separación a base de álcali, p.ej. utilizando el método descrito en el documento al que se ha hecho referencia anteriormente de Sameh y Ache, es necesario llevar a cabo una etapa de acidulación adicional. El procedimiento de extracción de Cs-137 de acuerdo con la invención tiene lugar utilizando soluciones ácidas.

En el procedimiento de la presente invención, el AMP puede combinarse con un soporte polimérico orgánico o inorgánico. Preferentemente, el AMP se combina con un soporte polimérico inorgánico, como aluminosilicato. Más preferentemente, el AMP se sintetiza sobre la superficie de aluminosilicato o, incluso más preferentemente, el AMP se sintetiza dentro de microesferas de aluminosilicato huecas (AMP-C). El material AMP-C puede prepararse de acuerdo con el método descrito por Tranter et al. (2009). En realizaciones en particular, el AMP-c puede contener 10-50 % en peso de AMP, como por ejemplo 10-30 % en peso o 15-25 % en peso, más preferentemente 20-25 % en peso.

En ciertas realizaciones del primer aspecto en el que se lleva a cabo la producción de Mo-99 en un AHR, se retorna la solución residual empobrecida en Cs-137 (es decir, después de haberla puesto en contacto con el adsorbente que comprende AMP) al reactor homogéneo. Tal como se ha mencionado anteriormente, la acumulación de Cs-137 en la solución del reactor homogéneo causa problemas para la posterior purificación de Mo-99. Por lo tanto, el procedimiento de acuerdo con un primer aspecto de la presente invención es particularmente útil en el contexto de la producción de Mo-99 en un reactor homogéneo.

De manera similar, una vez llevada a cabo la producción de Mo-99 en un reactor nuclear en el que se irradia una solución que comprende uranio, se retorna la solución residual empobrecida en Cs-137 al reactor nuclear.

Para los fines de la presente invención, la expresión "solución empobrecida en Cs-137" se refiere a una solución que ha sido sometida a un procedimiento de extracción de Cs-137 de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención. Dicha solución empobrecida en Cs-137 contiene una cantidad menor de Cs-137 que una solución

sometida a los mismos procedimientos de irradiación (y disolución, según sea necesario), y que no ha sido sometida al procedimiento de extracción de Cs-137. Preferentemente, la solución empobrecida en Cs-137 contiene solamente 90 % o menos, 80 % o menos, 70 % o menos, 60 % o menos o 50 % o menos de la cantidad de Cs-137 contenida en la solución antes del tratamiento con AMP; en realizaciones preferentes, la solución empobrecida en Cs-137 contiene 40 % o menos, 30 % o menos, 20 % o menos, 10 % o menos 5 % o menos o 1% o menos del Cs-137 contenido en la solución antes del tratamiento con AMP.

En una realización preferente del primer aspecto, el procedimiento comprende además una etapa de eliminación de Mo, lixiviado desde AMP (es decir Mo frío) de solución empobrecida en Cs-137 antes de su retorno al reactor homogéneo o el reactor nuclear en el que se irradia una solución que comprende uranio. Esta etapa adicional asegura que el Mo frío lixiviado desde AM no contamina el Mo-99 radioactivo producido en el reactor homogéneo o por la irradiación de blancos de solución de U.

La etapa de eliminar el Mo frío de las soluciones empobrecidas en Cs-137 puede llevarse a cabo utilizando cualquier método adecuado conocido para extraer Mo-99 como, por ejemplo, los que se han mencionado anteriormente. Preferentemente, el método comprende el contacto de dicha solución empobrecida en Cs-137 con un adsorbente que contiene zirconio. Por ejemplo, pueden utilizarse los adsorbentes disponibles en el mercado de Thermoxid Scientific & Production Co. (Zorechnyi, Federación de Rusia), distribuidos como Radsorb e Isosorb (ambos a base de TiO_2/ZrOH) y descritos en la patente estadounidense US 6337055.

De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato para llevar a cabo el procedimiento del primer aspecto, definiéndose dicho aparato en la reivindicación 7.

Tras la irradiación de blancos de sólido o solución de U-235, o de una solución de U en un reactor homogéneo, se puede eliminar la solución resultante que contiene Mo-99 y otros productos de fisión como Cs-137 del reactor y transferirse a una instalación para recoger el Mo-99 utilizando un aparato de acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención. La solución que contiene Mo-99 e impurezas se puede transferir por succión a presión a un recipiente que contiene un adsorbente para la extracción de Mo-99 y dispuesto corriente arriba y en comunicación de fluidos con un recipiente un adsorbente que contiene AMP, de manera que se trata la solución de Mo-99 recogida para extraer Cs-137.

En algunas realizaciones, el aparato comprende además un reactor nuclear, en el que se puede irradiar una solución que comprende uranio para la producción de Mo-99, o más preferentemente, un reactor homogéneo (p.e. un reactor homogéneo acuoso) que utiliza una solución que comprende uranio como combustible del reactor para la producción de Mo-99, donde el reactor tiene una válvula en la salida, el recipiente que contiene un adsorbente para la extracción de Mo-99 está dispuesto en comunicación de fluidos aguas abajo con la válvula y el recipiente que contiene un adsorbente que comprende AMP está dispuesto en comunicación de fluidos aguas abajo con la válvula y en comunicación de fluidos aguas abajo con el recipiente que contiene un adsorbente para la extracción de Mo-99. Dicha disposición no solamente permite que tenga lugar la producción (irradiación) y recogida de Mo-99, así como el tratamiento de corrientes residuales líquidas, sino que también hace posible que la solución empobrecida en Cs-137 retorne al reactor.

En dichas realizaciones, el recipiente que contiene un adsorbente que comprende AMP puede estar en comunicación de fluidos aguas abajo con la válvula tanto directamente como a través del recipiente que contiene un adsorbente para la extracción de Mo-99. Por consiguiente, cuando la válvula está en una primera posición, el recipiente que contiene un adsorbente que comprende AMP está en comunicación de fluidos aguas abajo directa con la válvula y cuando la válvula está en una segunda posición, el recipiente que contiene un adsorbente que comprende AMP está en comunicación de fluidos aguas abajo con la válvula a través del recipiente que contiene un adsorbente para la extracción de Mo-99.

Durante el uso del aparato de acuerdo con estas realizaciones, cuando la válvula está en la primera posición, el recipiente que contiene un adsorbente que comprende AMP está en comunicación de fluidos aguas abajo directa con la válvula, de manera que la solución del reactor fluye directamente desde el reactor al recipiente que contiene el adsorbente de AMP, que puede retornar entonces al reactor. Cuando se conmuta la válvula a la segunda posición, la solución del reactor fluye desde el reactor al recipiente que contiene el adsorbente para la extracción de Mo-99, y posteriormente al recipiente que contiene un adsorbente que comprende AMP, cuya producción puede retornar en última instancia al reactor.

En ciertas realizaciones del segundo aspecto, el aparato comprende además un recipiente que contiene un adsorbente para eliminar Mo, lixiviado de AMP (es decir Mo frío) en comunicación de fluidos aguas abajo con el recipiente que comprende un adsorbente que comprende AMP.

Los adsorbentes utilizados en el segundo aspecto para la extracción de Mo-99 o Mo frío, y el adsorbente que comprende AMP para la extracción de Cs-137 pueden ser cualquiera de los adsorbentes mencionados para el primer aspecto.

En realizaciones preferentes del segundo aspecto de la presente invención, al menos uno de los recipientes que contienen adsorbente de Mo-99 y AMP es una columna que tiene una entrada y una salida. Preferentemente, ambos recipientes son de este tipo. En ciertas realizaciones, el recipiente que contiene un adsorbente para Mo frío puede ser también una columna que tiene una entrada y una salida.

El adsorbente para extracción de Mo-99 o Mo frío y el adsorbente que comprende AMP para la extracción de Cs-137 de acuerdo con el segundo aspecto de la invención puede ser cualquier adsorbente adecuado conocido en la técnica y los ejemplos de dichos adsorbentes se mencionan en relación con el primer aspecto. Preferentemente, el adsorbente para la extracción de Mo-99 o Mo frío es un adsorbente que contiene zirconio/titania, como Radsorb o Isorb.

De acuerdo con la presente invención, una vez cargado el adsorbente que comprende AMP con Cs-137, por ejemplo, en un grado en el que su capacidad de adsorción de Cs se daña significativamente, se puede reemplazar el adsorbente. De esta forma, el Cs-137 extraído de la solución residual está contenido en una forma sólida compacta y reducida que es más económica y fácil de manejar que las corrientes residuales que contienen Cs-137 en solución de la técnica anterior.

La invención se describirá a continuación con más detalle de forma ilustrativa solamente, y haciendo referencia a la Figura 1 adjunta que presenta un diagrama esquemático de un ejemplo de procedimiento de la invención.

La invención proporciona la descontaminación de una corriente ácida obtenida a partir de i) la disolución de blancos de U muy enriquecidos o poco enriquecidos (dispersados o no dispersados/hoja de metal de U) ii) la irradiación de una solución de U muy enriquecida o poco enriquecida en reactores nucleares, o iii) una solución de U muy enriquecida o poco enriquecida utilizada como combustible en un reactor homogéneo, habiéndose tratado la corriente ácida para extraer Mo-99 eliminando Cs-137 con el uso de un adsorbente que comprende AMP. La invención lleva a corrientes residuales líquidas con cantidades reducidas o insignificantes de Cs-137 y una forma sólida compacta de Cs-137, ambas más económicas y fáciles de manejar que las corrientes residuales líquidas sin tratar.

Ejemplo 1. Procedimiento de irradiación de solución de uranilo:

Se irradia una cantidad de solución de nitrato de uranilo con una concentración determinada de U, por ejemplo 150g/l, en un reactor nuclear (véase Ruta 1 de la figura 1). Se guía la solución final, que contiene Mo-99 entre otros isótopos, a través de una columna que retiene Mo-99 con trazas de U y otros productos de fisión (Figura 1- "extracción de Mo-99"). A continuación, se lava la columna con una solución 0,1M HNO₃ con un volumen que corresponde a ocho volúmenes de lecho de columna. Esto permite el lavado de prácticamente todo el U retenido en la columna de manera que se puede recoger Mo-99 en etapas de purificación posteriores. A continuación, se tratan la solución de carga que contiene U que sale de la columna de extracción de Mo-99 y las soluciones de aclarado en esta columna para extraer Cs-137 haciéndolas fluir a través de otra columna que comprende adsorbente AMP-C utilizando un caudal apropiado para obtener un equilibrio entre el tiempo de procedimiento y la eficiencia de extracción de Cs-137. A continuación, se pasa la solución residual empobrecida en Cs-137 a través de una columna que comprende un adsorbente que contiene zirconio/titania para capturar el Mo frío lixiviado desde el adsorbente de AMP-C. Tal como podrán apreciar las personas especializadas en la técnica, las dos columnas para extracción de Cs-137 y Mo frío se pueden combinar en una sola columna que tenga dos compartimentos separados. A continuación, se recicla la solución resultante introduciéndola en el reactor y se vuelve a irradiar para producir más Mo-99.

Ejemplo 2. Reactor homogéneo:

Se sigue el mismo procedimiento que el descrito en la patente estadounidense 5596611 con una solución de nitrato de uranilo (UO₂(NO₃)₂) para recoger Mo-99 (Figura 1 – "Extracción de Mo"). La solución de Mo-99 recogida junto con las soluciones de aclarado que contienen U se purifican después empleando el procedimiento descrito (véase Ruta 2 de la Figura 1). Dado que la solución del reactor homogéneo tiene un volumen mucho mayor que el obtenido por irradiación de los blancos de solución U en un reactor nuclear, se ajusta la cantidad de adsorbentes, así como el caudal de la solución para mantener el tiempo de contacto apropiado y la eficiencia de extracción.

Referencias:

- Faubel and Ali, Radiochimica Acta, 1986, 40, p49-56;
- Li et al., IAEA-TECDOC-1601, septiembre 2008, p23;
- Sameh and Ache, Radiochim. Acta, 1987, 41, p65;
- Sebesta, IAEA-TECDOC-947, 1997;
- Smit and Van, J., Nature, 1958, p1530;
- Todd and Romanovskiy, Radiochemistry, 2005, 47, 4, p398-402;
- Tranter et al., Solvent Extraction and Ion Exchange, 2009, 27, p199-218;

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para extraer Cs-137 de i) una solución ácida obtenida por disolución de un blanco sólido irradiado que comprende uranio, ii) una solución ácida que comprende uranio que ha sido irradiado previamente en un reactor nuclear, o iii) una solución ácida que comprende uranio que ha sido utilizado como combustible de reactor en un reactor homogéneo, comprendiendo el procedimiento:
 - (a) recoger Mo-99 de la solución i), ii) o iii),
 - (b) poner en contacto la solución ácida tratada de (a) con un adsorbente que comprende molibdofosfato de amonio (AMP), y
 - (c) devolver la solución empobrecida en Cs-137 de la etapa (b) al reactor nuclear o el reactor homogéneo.
2. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, donde la solución ácida i) se obtiene por disolución de un blanco sólido irradiado que comprende uranio en un medio ácido.
3. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, donde el AMP se combina con un soporte polimérico orgánico o inorgánico.
4. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, donde el AMP combinado con un soporte polimérico inorgánico es AMP sintetizado dentro de microesferas de aluminosilicato huecas (AMP-C).
5. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, donde el procedimiento comprende además una etapa de eliminación de Mo, lixiviado desde AMP, desde la solución empobrecida en Cs-137, antes de retornarlo para ser irradiado en el reactor nuclear, o antes de retornarlo al reactor homogéneo.
6. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, donde la etapa de eliminación de Mo, lixiviado desde AMP, desde la solución empobrecida en Cs-137 comprende poner en contacto dicha solución empobrecida en Cs-137 con un adsorbente que contiene zirconio, como un adsorbente a base de zirconio/titania.
7. Un aparato para llevar a cabo el procedimiento de la reivindicación 1, comprendiendo el aparato un recipiente que contiene un adsorbente para la extracción de Mo-99 y un recipiente que contiene un adsorbente que comprende AMP y está dispuesto en comunicación de fluidos aguas abajo con el recipiente que contiene el adsorbente para extracción de Mo-99.
8. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 7, que comprende además un reactor nuclear, en el que se puede irradiar una solución que comprende uranio para la producción de Mo-99, donde el reactor nuclear tiene una válvula en su salida, el recipiente que contiene un adsorbente para la extracción de Mo-99 está dispuesto en comunicación de fluidos aguas abajo con la válvula y el recipiente que contiene un adsorbente que comprende AMP está dispuesto en comunicación de fluidos aguas abajo con la válvula y en comunicación de fluidos aguas abajo con el recipiente que contiene un adsorbente para la extracción de Mo-99.
9. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 7, que comprende además un reactor homogéneo que utiliza una solución que comprende uranio como combustible de reactor para la producción de Mo-99, donde el reactor homogéneo tiene una válvula en su salida, el recipiente que contiene un adsorbente para la extracción de Mo-99 está dispuesto en comunicación de fluidos aguas abajo con la válvula, y el recipiente que contiene un adsorbente que comprende AMP está dispuesto en comunicación de fluidos aguas abajo con la válvula y en comunicación de fluidos aguas abajo con el recipiente que contiene un adsorbente para la extracción de Mo-99.
10. Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, comprendiendo el aparato además un recipiente que contiene un adsorbente para eliminar Mo, lixiviado desde el AMP en comunicación de fluidos aguas abajo con el recipiente que contiene un adsorbente que comprende AMP.

