



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTA - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPI – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

Bogotá D.C., 31 de octubre de 2018

Señores
DIVISION DE NUEVAS CREACIONES
SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO
Ciudad

REFERENCIA: Expediente No. NC2017/0001040

TÍTULO: “APARATOS Y SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE NÚCLEOS DE PRODUCTO DE REACCIÓN A PARTIR DE NÚCLEOS DE REACTANTE”

SOLICITANTE: RESEARCH TRIANGLE INSTITUTE

TRÁMITE: Respuesta a Concepto Técnico notificado mediante Oficio No. 9517 del 3 de agosto de 2018.

JAIME EDUARDO DELGADO VILLEGAS, en mi condición de apoderado de la sociedad **RESEARCH TRIANGLE INSTITUTE**, dentro del término legal, presento respuesta a Concepto Técnico notificado mediante Oficio No. 9517 del 3 de agosto de 2018.

1. DE LA SOLICITUD DE PATENTE.

REIVINDICACIONES (Art 30 D 486, Art 22 PCT)

El Examinador objeto el capítulo reivindicatorio porque:

- 1.1 *“Las reivindicaciones 1, 4, 7, 8, 9, 11, 12, 16, 19, 20, 21, 23, 24, 26 y 28 no son claras porque presentan términos generales tales como: “núcleos de reactante” (Reiv. 1, 4, 7, 8, 11, 12, 19, 21, 25), “núcleos moderadores” (Reiv. 1, 7), “fuente de neutrones” (Reiv. 1), “la tasa de captura de neutrones de núcleos de reactante (322) dividida entre la tasa de producción de neutrones (320) por la fuente de neutrones (316), “fluido criogénico” (Reiv. 6, 17, 26), “mayores densidades” (Reiv. 8, 19, 25), “capas paralelas” (Reiv. 9), “composición elemental”, “concentración de especies químicas”, “la densidad*



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTA - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPI – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

o la temperatura” (Reiv. 9), “diana configurada” (Reiv. 10, 20, 23), “canal de acceso configurado” (Reiv. 10, 20, 23), “primera pluralidad de núcleos reactantes”, “una primera sección transversal de captura de neutrones térmicos microscópica promedio”, “conjunto de isótopos”, “una segunda pluralidad de núcleos” (Reiv.11), “diferentes temperaturas” (Reiv. 16), “primera y la segunda pluralidad de núcleos” (Reiv. 18), “conjunto subcrítico” (Reiv. 1, 21), “capas de las pluralidades de reactante y núcleos moderadores” (Reiv. 24), “sistema” (Reiv.28) los cuales aunque corresponden a términos conocidos en el campo técnico, abarcan alternativas abarcan alternativas que no se encuentran ejemplarizadas, por tanto no tendrían sustento en la descripción. Se sugiere sustituirlos por términos que den una razonable generalización”.

- 1.2 *“En las reivindicaciones 1, 4, 12, 13, 21, 28 y 30 hacen referencia a resultados a obtener como lo son: “en donde la tasa de captura de neutrones de núcleos de molibdeno-98 dividida entre la tasa de producción de neutrones por la fuente de neutrones (316) es mayor del 1%” (Reiv. 1, 21, 30), “la tasa de captura de neutrones de núcleos de reactante (322) dividida entre la tasa de producción de neutrones (320) por la fuente de neutrones (316) es de mayor del 5%” (Reiv. 4), “en el que la tasa de captura de neutrones de reactante (322) dividida entre la tasa de producción de neutrones (320) por la fuente de neutrones (316) es mayor del 1%” (Reiv. 12), “en donde la tasa de captura de neutrones de núcleos de reactante (322) dividida entre la tasa de producción de neutrones (320) por la fuente de neutrones (316) es de mayor del 5%” (Reiv. 13) “suficiente para producir núcleos de producto de reacción por captura de neutrones y en donde al menos 100 g del sistema se enfrían a una temperatura a o por debajo de 250 kelvin” (Reiv. 28) que incluiría no sólo la solución propuesta por el solicitante sino todas las alternativas presentes o futuras que lleguen a ese resultado”*
- 1.3 *“La estructura de la reivindicación 1, tiene más de un enlace gramatical al referir “comprendido”, “comprende” y “comprende” lo cual no permite distinguir claramente el objeto que busca proteger”.*
- 1.4 *“En la reivindicaciones las expresiones “capaz de mantener al menos 2 regiones diferentes del aparato (300) a diferentes temperaturas” (Reiv. 5, 26), “para emitir neutrones cuando es impactada por partículas aceleradas” (Reiv. 10, 23), “para aceptar más del 50 por ciento de as partículas aceleradas que impactan en el canal de acceso” (Reiv. 10, 20, 23) corresponden a características funcionales, las cuales aunque explican la relación que hay entre diversas características estructurales y pueden estar incluidas en las reivindicaciones, no definen la invención; de tal manera no se tiene en cuenta para el estudio de patentabilidad”.*
- 1.5 *“La reivindicación 5, 16 se encuentra mal caracterizada, ya que el preámbulo menciona un aparato, pero su parte caracterizante se enfoca en un método, lo cual no es permitido, ya que esta combinando diferentes categorías de reivindicaciones, de aparato y de método, lo cual no es permitido”.*
- 1.6 *“La reivindicación 21 y 28 no es concisa ya que divulga la misma materia contenida en la reivindicación 1, se sugiere hacer la aclaración respectiva”.*



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTA - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPI – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

- 1.7 *“Las reivindicaciones 28 a 31 que hacen referencia a un sistema que no se encuentra correctamente caracterizado, ya que un sistema se define como un conjunto de aparatos y/o partes de estos, que cooperan entere si para lograr un propósito, lo cual no sucede en este caso, ya que se está combinando diferentes categorías de reivindicaciones, de sistema y de aparato, lo cual no es permitido”.*
- 1.8 *“La reivindicación 28 se encuentra mal caracterizada, ya que el preámbulo menciona un sistema, pero su parte caracterizante se enfoca en un método, lo cual no es permitido, ya que esta combinando diferentes categorías de reivindicaciones, de sistema y de método, lo cual no es permitido”.*
- 1.9 *“Las reivindicaciones 5, 16 y 28 las unidades de temperatura (grados kelvin), no se encuentran en el sistema internacional. De acuerdo al decreto 3460 de 1984 se dispuso que se debe adoptar en el país el Sistema Internacional de Unidades (SI) como sistema obligatorio [1], por lo tanto, se debe cambiar las unidades de la solicitud a este Sistema”.*

R/: El solicitante de acuerdo con las observaciones del Examinador, se permite manifestar lo siguiente:

- 1.1 En primer lugar, hacemos referencia al siguiente apartado de la Guía para Examen de Solicitudes de Patente de Invención y Modelo de Utilidad, denominada G. E. en lo sucesivo, (subrayado y negrita añadidos por nosotros):

“2.6.5.1 Términos utilizados

El significado y alcance de las palabras de las reivindicaciones debe ser el que normalmente se les da en el área técnica de la solicitud, y tiene que ser claro para la persona del oficio normalmente versada en la materia con la sola lectura de las reivindicaciones. Si la palabra tiene un significado especial dado por una definición en la descripción, esta definición deberá incluirse en la reivindicación, siempre que esto sea factible.

“En consecuencia, el examinador debe leer cada reivindicación dando a las palabras el significado y alcance que tienen normalmente en el estado de la técnica a menos que la descripción les dé un significado especial. Sin embargo, si tal significado especial aplica, el examinador deberá requerir que se modifique la reivindicación para que su significado sea claro.”

Creemos que la persona del oficio normalmente versada en la materia sí entiende de forma clara y precisa los términos objetados, siendo los mismos además ampliamente utilizados en el estado de la técnica. De



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTA - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPI – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

hecho, el propio Examinador admite que todos términos son “términos conocidos en el campo técnico” y por tanto conocidos por la persona versada en la materia.

En base a la descripción es posible observar que, primero, estos términos corresponden a características técnicas conocidas por un experto medio en la materia y, segundo, que sus significados son precisamente los que normalmente tienen en el estado de la técnica. Por tanto, creemos que a la luz de la descripción el significado de dichos términos es completamente claro. Además, en línea con lo indicado en la página 57 de la G. E.: “*La Protección está dada por las reivindicaciones y los dibujos sirven para interpretarlas,*” los términos objetados aparecen en los dibujos tal como se especifica en la descripción de la presente solicitud. Por todo ello, el solicitante no cree necesario modificar los términos citados ya que cualquier modificación de los mismos supondrían una innecesaria restricción del ámbito de protección originalmente conferido.

- 1.2 En primer lugar, muy respetuosamente creemos que el Examinador está haciendo una interpretación errónea de los fragmentos relativos a las **Reivindicaciones 1, 4, 12, 13, 21 y 30** que mencionan relaciones entre la tasa de captura de neutrones de núcleos de molibdeno-98 dividida entre la tasa de producción de neutrones por la fuente de neutrones. La presente invención se refiere a un aparato y un sistema de producción de núcleos de producto de reacción a partir de núcleos de reactante. Además, se define (ver **Reivindicaciones 1, 12, 13, 21 y 29**) que los núcleos de reactante comprenden molibdeno-98, por lo que definir una relación entre la captura de dichos neutrones de núcleos de



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTA - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPI – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

molibdeno-98 dividida entre la tasa de producción de neutrones por la fuente de neutrones es una característica esencial de la invención y no el objeto de la misma. De hecho, el objeto de la misma es la producción de núcleos de producto de reacción a partir de núcleos de reactante, dicha reacción ocurriendo a partir de una relación concreta de estos dos parámetros.

Además de lo anteriormente expuesto, el solicitante desea incidir en el hecho de que el Examinador cita fragmentos concretos de las reivindicaciones objetadas (ver **Reivindicaciones 1, 12, 13, 21 y 28**), donde las reivindicaciones que contienen dichos fragmentos incluyen características técnicas estructurales adicionales aparte de las objetadas. Dichas características son, precisamente, características esenciales estructurales tangibles que definen el objeto reivindicado. Si los fragmentos objetados fueran resultados a alcanzar, tal como indica el Examinador, los mismos no tendrían por qué ser eliminados de las reivindicaciones puesto que pueden aparecer también tal como se indica en la página 79 de la G. E.:

“El resultado a alcanzar no es una característica técnica de la invención. Puede aparecer en la reivindicación, pero siempre acompañando las características técnicas que definen la invención.”

Por lo tanto, muy respetuosamente se indica que el solicitante no comparte lo aseverado por el Examinador puesto que los fragmentos citados no están definiendo un resultado a alcanzar sino que definen una relación entre dos parámetros (tasa captura núcleos de reactante/tasa producción neutrones por la fuente de neutrones), relación que define de manera inequívoca la propia invención. De



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTA - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPI – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

hecho, dichos fragmentos carecen de sentido si se toman de forma aislada, lo que demuestra que no definen resultados a alcanzar. Por todo lo anterior, el solicitante considera que esta objeción ha quedado superada.

- 1.3 Para solventar esta objeción, se ha introducido la expresión “caracterizado porque” en la **Reivindicación 1** de manera que el preámbulo y parte caracterizante quedan adecuadamente definidas.
- 1.4 Se ha reemplazado la expresión “capaz de mantener al menos 2 regiones...” por la expresión “que mantiene al menos dos regiones...” en las **Reivindicaciones 5 y 26**. Se ha reemplazado la expresión “configurada para emitir neutrones cuando...” por la expresión “que emite neutrones cuando...” en las **Reivindicaciones 10 y 23**. Se ha reemplazado la expresión “para aceptar más del 50 por ciento de las partículas...” con la expresión “que acepta más del 50 por ciento de las partículas...” en las **Reivindicaciones 10, 20 y 23**.

Al margen de las modificaciones realizadas en las reivindicaciones para solventar las objeciones es este punto, el solicitante no comparte la opinión del Examinador al respecto de no considerar características funcionales para el estudio de patentabilidad. Nuevamente, el Examinador cita fragmentos concretos de las reivindicaciones objetadas donde las reivindicaciones que contienen dichos fragmentos incluyen características técnicas adicionales aparte de las objetadas.

“El resultado a alcanzar no es una característica técnica de la invención. Puede aparecer en la reivindicación, pero siempre acompañando las características técnicas que definen la invención.”



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTA - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIP – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

Dichas características funcionales definen, tal y como admite el Examinador, la **relación entre otras características estructurales del dispositivo**, y por tanto son **características que deberían ser consideradas en el estudio de patentabilidad**. Por ejemplo, cuando en la **Reivindicación 5** se dice que el controlador de temperatura es capaz de mantener al menos dos regiones diferentes del aparato a diferentes temperaturas, implícitamente se está diciendo que el controlador de temperatura comprende medios para mantener estas al menos dos regiones a diferentes temperaturas. Por tanto, dichas características funcionales de forma implícita están definiendo limitaciones estructurales del dispositivo y en consecuencia deberían ser tenidas en cuenta a la hora de realizar el estudio de patentabilidad. Es decir, sólo deberían ser considerados en términos de novedad y/o altura inventiva otros controladores de temperatura capaces de llevar a cabo las limitaciones funciones descritas en la reivindicación. Por todo lo anterior el solicitante considera que esta objeción ha quedado superada.

- 1.5 El solicitante no comparte la opinión del Examinador con relación a las Reivindicaciones 5 y 16 por las razones análogas a las expuestas en el punto 1.4. En concreto, las **Reivindicaciones 5 y 16** describen que el aparato comprende un controlador (característica técnica de aparato) que es capaz de (está configurado para) mantener al menos 2 regiones diferentes del aparato a diferentes temperaturas y donde al menos una región se enfría a una temperatura por debajo de menos 23,15 grados centígrados (es decir, el controlador está además configurado para enfriar una de las dos regiones a una temperatura por debajo de los menos 23,15 grados centígrados). Por lo tanto, estas características



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTA - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPI – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

funcionales definen de una manera implícita otras características técnicas del controlador. Además, una persona experta en la materia no tendría ninguna dificultad para proporcionar los medios técnicos para desempeñar estas funcionalidades sin para ello tener que ejercer un importante esfuerzo inventivo. Por todo lo anterior el solicitante considera que esta objeción ha quedado superada.

1.6 Con respecto a la objeción del numeral 1.6, discrepamos respetuosamente del Examinador. El solicitante, además del aparato, desea proteger los sistemas de las **Reivindicaciones independientes 21 y 28**.

En concreto, el sistema de la **Reivindicación 21** se refiere a un sistema de producción de un producto de desintegración a partir de un reactante usando una pluralidad de núcleos reactantes, una pluralidad de núcleos moderadores y una fuente de neutrones en el sentido más amplio dado por la propia descripción de la solicitud. De hecho, en la **Reivindicación 22** se especifica que en una realización específica la fuente de neutrones es un reactor nuclear o un conjunto subcrítico, mientras que en la reivindicación 1 se especifica que dicha fuente de neutrones no es ni un reactor nuclear ni un conjunto subcrítico. Además, en esta **Reivindicación 21** no se especifica que dicha fuente de neutrones necesariamente deba estar situada en proximidad suficiente a los núcleos reactantes para producir los núcleos del producto de reacción por captura de neutrones. Por lo tanto, la **Reivindicación 21** describe un sistema en el que el concepto inventivo puede extenderse más allá de un aparato de la **Reivindicación 1**, que incluye una fuente de neutrones dedicada y donde la disposición y composición de masas se puede combinar en un sistema en el cual la



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTÁ - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPI – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

fuelle de neutrones es parte de un reactor nuclear o un conjunto subcrítico.

Por razones análogas a las anteriores, la **Reivindicación 28** se refiere a un sistema cuyo concepto inventivo puede extenderse más allá de un aparato como el descrito en la **Reivindicación 1**, que incluye una fuente de neutrones dedicada y donde la disposición y composición de masas se puede combinar en un sistema en el cual la fuente de neutrones es parte de un reactor nuclear o un conjunto subcrítico. De hecho, en esta **Reivindicación 28** de sistema no se menciona la existencia de núcleos moderadores ni que los núcleos de reactante contengan el molibdeno-98.

Por lo tanto, el solicitante afirma que las **Reivindicaciones 1, 21 y 28 no divulgan la misma materia**. Por todo lo anterior el solicitante considera que esta objeción ha quedado superada.

- 1.7 La **Reivindicación 28** define un sistema con una serie de limitaciones estructurales y funcionales mucho más amplias que las del aparato de la **Reivindicación 1**. El solicitante afirma que el sistema así descrito se reivindica como un conjunto de características técnicas estructurales (núcleos de reactante, fuente de neutrones situada en proximidad a los núcleos de reactante) así como características funcionales (100g del sistema se enfrían a o por debajo de los menos 23,15 grados centígrados).

“El resultado a alcanzar no es una característica técnica de la invención. Puede aparecer en la reivindicación, pero siempre acompañando las características técnicas que definen la invención.”



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTA - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPI – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

Las **características funcionales definen**, tal y como admite el Examinador, la **relación entre otras características estructurales del dispositivo**. Por tanto, la combinación de características técnicas estructurales y características técnicas funcionales, aquí descrita en forma de reivindicación de sistema, es admisible de acuerdo a la ley Colombiana de Patentes.

Las **Reivindicaciones 29 a 31** dependen de la **Reivindicación 28** y por lo tanto son también admisibles de acuerdo a la ley Colombiana de Patentes. Por todo lo anterior el solicitante considera que esta objeción ha quedado superada.

1.8 Para solventar esta objeción, se ha introducido la expresión “caracterizado porque” en la **Reivindicación 28** de manera que el preámbulo y parte caracterizante quedan adecuadamente definidas. La parte caracterizante incluye un conjunto de características técnicas estructurales (núcleos de reactante, fuente de neutrones situada en proximidad a los núcleos de reactante) así como características funcionales (100g del sistema se enfrían a o por debajo de los menos 23,15 grados centígrados).

Nuevamente, la combinación de característica técnicas estructurales y características técnicas funcionales, aquí descrita en forma de reivindicación de sistema, es admisible de acuerdo a la ley Colombiana de Patentes. Por todo lo anterior el solicitante considera que esta objeción ha quedado superada.

1.9 Las temperaturas de las **Reivindicaciones 5, 16 y 28** se han convertido a temperaturas medidas en grados centígrados (250 grados



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTA - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPI – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

Kelvin = -23,15 grados centígrados). En consecuencia, esta objeción ha quedado superada.

Por lo expresado anteriormente, el solicitante pone a consideración del Examinador Técnico de Patentes un **NUEVO CAPITULO REIVINDICATORIO** el cual consta de treinta y una (31) nuevas reivindicaciones en seis folios.

2. DESCRIPCIÓN

El Examinador objeto la Descripción porque:

“Las unidades grados kelvin (Pág. 6, línea 25; Pág. 10, línea 7; Pág. 12, línea 13; Pág. 14, línea 10, Pág. 15, línea 14; Pág. 24, línea 4) no se encuentran en el Sistema internacional”.

R/: El solicitante se permite aclarar lo siguiente:

Las temperaturas de las Pág. 6, línea 25; Pág. 10, línea 7; Pág. 12, línea 13; Pág. 14, línea 10, Pág. 15, línea 14; Pág. 24, línea 4 **se han modificado** de manera que se ha **añadido su equivalente en grados centígrados** (250 grados Kelvin = -23,15 grados centígrados). En consecuencia, esta objeción ha quedado superada.

Por lo anterior, adjuntamos **NUEVA DESCRIPCION DE LA INVENCION** en cuarenta y ocho folios.

2. ANÁLISIS DE PATENTABILIDAD.

NIVEL INVENTIVO (Art. 18 D486)

El Examinador objeto el nivel inventivo de las Reivindicaciones 1, 2, 3, 21, 22, 28, 29 y 31 con el documento **D1 (US2005082469)** porque:



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTÁ - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPI – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

“El documento D1 se considera el estado de la técnica más cercano a la invención definida en la reivindicación 1 porque divulga un material se expone a un flujo de neutrones al distribuirlo en un medio de difusión de neutrones que rodea una fuente de neutrones. El medio difusor es transparente para los neutrones y está dispuesto de tal manera que la dispersión de neutrones mejora sustancialmente el flujo de neutrones al que está expuesto el material. Tal exposición mejorada de neutrones puede usarse para producir radioisótopos útiles, en particular para aplicaciones médicas, a partir de la transmutación de isótopos fácilmente disponibles incluidos en el material expuesto. También se puede usar para transmutar eficientemente residuos radioactivos de larga duración, como los recuperados del combustible nuclear gastado. El uso de elementos pesados, como plomo y / o bismuto, como medio difusor es particularmente interesante, ya que da como resultado un escaneo que disminuye lentamente a través del espectro de energía de neutrones (Resumen)”.

“En consecuencia, la persona del oficio normalmente versada en la materia enfrentada al problema técnico obtener un aparato alternativo al divulgado por D1, estaría motivada ajustar la masa de núcleos moderadores tal y como se encuentran reivindicados en el método D1 llegando así al objeto de la reivindicación 1, por lo cual se considera obvia”.

R/: Nuestro poderdante con el fin de solventar dicha objeción, el solicitante ha introducido la siguiente característica técnica en las **Reivindicaciones independientes 1, 21 y 28:**

“sistema de control de temperatura capaz de enfriar una región a una temperatura por debajo de los menos 23,15 °C, y donde la región enfriada está suficientemente próxima a la fuente de neutrones (316) para potenciar la tasa de captura de neutrones de núcleos de reactante (322)”.

Dicha característica técnica tiene soporte en la página 6 línea 22 – página 7 línea 1 de la descripción: *“En al menos un ejemplo, **se usa el control de la temperatura capaz** de mantener al menos 2 regiones diferentes del aparato a diferentes temperaturas, **y al menos una región se enfría a una temperatura por debajo de menos 23,15 °C.** El control de la temperatura puede incluir el uso de **un fluido criogénico**”.*



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTA - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPI – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

Además, la página 41 líneas 8- 14 describe: “*Se proporciona calentamiento y/o **refrigeración** en diversas realizaciones para mantener una diana productora de neutrones a una temperatura estable seleccionada. **Puede usarse refrigeración para facilitar el potenciamiento de la tasa de captura de neutrones de núcleos de reactante** reduciendo la energía de los neutrones y así mejorando la sección transversal de captura de neutrones microscópica de los núcleos de reactante previstos, tales como núcleos de ⁹⁸Mo. La refrigeración puede incluir refrigeración criogénica.*”

La página 63 líneas 14-16 describe: “*Puede usarse un control de temperatura, que incluye un control de temperatura criogénico, para potenciar la tasa o la probabilidad de captura de neutrones de núcleos de reactante.*”

La página 37 líneas 15 a 17 describe: “*Por ejemplo, podrían usarse helio líquido, oxígeno y/u otros refrigerantes para mantener las temperaturas de la diana esférica central 706 y las capas 710-718, cada una a una temperatura respectiva particular.*”

Se deriva de manera clara e inequívoca de lo anterior, que manteniendo la diana productora (la fuente de neutrones es una diana productora) de neutrones refrigerada, por debajo de los menos 23,15 °C estaría refrigerada, se potencia la tasa de captura de neutrones de núcleos reactantes. Por tanto, la región enfriada por debajo de los menos 23,15°C (estando refrigerada por el sistema de control de la temperatura que enfría la región - pudiendo estar refrigerada por ejemplo mediante helio líquido, oxígeno y/u otros refrigerantes-) y situada lo suficientemente próxima (un experto medio en la materia entendería que el interior del reactor se podría transmitir la



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTA - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPI – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

refrigeración desde la región enfriada hasta la fuente de neutrones por convección) a la fuente neutrones refrigera dicha fuente de neutrones potenciando la tasa de captura de neutrones de núcleos de reactante.

Por consiguiente, la característica técnica introducida en las **Reivindicaciones 1, 21 y 28** tiene soporte en la descripción tal y como se depositó originalmente.

Por otro lado, el documento **D1** **ni describe ni sugiere dicha característica técnica**. Por lo tanto, el problema técnico objetivo que plantean las **actuales Reivindicaciones 1, 21 y 28** es cómo mejorar la tasa de captura de neutrones de núcleo reactante para mejorar la producción de núcleos de producto de reacción. El documento **D1** tampoco menciona ni sugiere dicho problema técnico objetivo.

El efecto técnico de dicha diferencia es que la energía de los neutrones se reduce y así se mejora la sección transversal de captura de neutrones microscópica de los núcleos de reactante previstos (ver página 41, líneas 8-13).

De ningún modo la persona versada en este campo técnico hubiese llegado a la solución aquí descrita tomando como punto de partida el documento **D1**. De hecho, el documento **D1** no proporciona ningún apunte o enseñanza válida que pudiese llevar a la persona versada a modificar o adaptar la solución descrita en el documento **D1** para llegar a la solución aquí reivindicada sin que ello implicase un enorme esfuerzo inventivo por parte de la persona versada.



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTÁ - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPI – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

Por lo tanto, no hay en el documento **D1** ninguna enseñanza que (no solo hubiera, sino que podría) haber inducido al experto, ante el problema técnico objetivo de cómo mejorar la tasa de captura de neutrones de núcleo reactante para mejorar la producción de núcleos de producto de reacción, a modificar o adaptar la solución descrita en el documento **D1** para llegar a la solución reivindicada en las actuales **Reivindicaciones 1, 21 y 28**.

Por todo lo anterior, las **actuales Reivindicaciones 1, 21 y 28**, así como sus correspondientes reivindicaciones dependientes tienen **NIVEL INVENTIVO**.

3. RESPUESTA A LOS ARGUMENTOS DEL SEÑOR SOLICITANTE

3.1 El Examinador insiste en que muchos de los términos de las Reivindicaciones son generales que abarcan una extensa gama de posibilidades y por tanto no definen adecuadamente la invención. Además, rechaza los argumentos presentados a este respecto por el solicitante en la anterior réplica.

Nuevamente, amablemente se indica al Examinador que el solicitante no está de acuerdo con esta objeción. Se hace referencia al siguiente apartado de la Guía para Examen de Solicitudes de Patente de Invención y Modelo de Utilidad, denominada G. E. en lo sucesivo, (subrayado y negrita añadidos por nosotros):

“2.6.5.1 Términos utilizados

El significado y alcance de las palabras de las reivindicaciones debe ser el que normalmente se les da en el área técnica de la solicitud, y tiene que ser claro para la persona del oficio normalmente versada en la materia con la sola lectura de las reivindicaciones. Si la palabra tiene un significado especial dado por una definición en la descripción, esta definición deberá incluirse en la reivindicación, siempre que esto sea factible.



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTÁ - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPI – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

En consecuencia, el examinador debe leer cada reivindicación dando a las palabras el significado y alcance que tienen normalmente en el estado de la técnica a menos que la descripción les dé un significado especial. Sin embargo, si tal significado especial aplica, el examinador deberá requerir que se modifique la reivindicación para que su significado sea claro.

El Examinador ha admitido que todos estos términos objetados son “términos conocidos en el campo técnico”. Es decir, un experto medio en la materia, conoce perfectamente su significado y el ámbito técnico al que se refieren. Si son términos perfectamente conocidos en el campo técnico, su uso no admite lugar a dudas. Es decir, un experto medio en la materia que analizase las reivindicaciones que incluyese estos términos podría delimitar el ámbito de las mismas de forma clara e inequívoca, porque de forma e inequívoca puede delimitar el ámbito de los términos objetados de forma independiente. No se entendería de otro modo que un experto medio pueda definir el ámbito de un término de manera aislada pero no fuera capaz de delimitarlo cuando se incluye en una reivindicación.

Además, el solicitante quiere insistir en que, en base a la descripción es posible observar que, primero, estos términos corresponden a características técnicas conocidas por un experto medio en la materia y, segundo, que sus significados son precisamente los que normalmente tienen en el estado de la técnica. La definición de los términos de las reivindicaciones además de por su significado conocido en el campo técnico viene delimitado por la parte descriptiva de la solicitud de patente. Por tanto, creemos que a la luz de la descripción el significado de dichos términos es completamente claro. Además, en línea con lo indicado en la página 57 de la G. E.: “La Protección está dada por las reivindicaciones y los dibujos sirven para interpretarlas,” los términos objetados aparecen en los dibujos tal como se especifica en la descripción de la presente solicitud.



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTA - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPI – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

Finalmente, el solicitante quiere amablemente volver a insistir en que un experto medio en la materia en base a la descripción y el actual juego de reivindicaciones es perfectamente capaz de delimitar el ámbito de protección de las reivindicaciones sin necesidad de recurrir a elementos técnicos externos por lo que dicho actual juego de reivindicación cumple con lo establecido por el Tribunal de Justicia de la Comunidad Andina.

- 3.2** El Examinador considera que los argumentos presentados en relación a la validez de las características funcionales de cara a analizar la **novedad y/o altura inventiva** no son válidos.

Siguiendo la línea argumentativa expuesta anteriormente, el solicitante quiere insistir en que las características funcionales delimitan de forma implícita e inequívoca el dispositivo que lleva a cabo dichas funciones. Cuando un dispositivo está configurado, adaptado o es capaz de llevar a cabo una función es porque su geometría, electrónica, etc, está adaptada para llevar a cabo dicha función. Por ejemplo, un molde configurado, adaptado o capaz de retener un metal fundido, necesariamente e implícitamente esta determinando que el material del que está hecho es capaz de soportar temperaturas superiores a las del metal en estado líquido que retiene. Por lo tanto, esta característica funcional define de forma clara e inequívoca características técnicas del dispositivo y como tal, deben ser consideradas a la hora de analizar la novedad y/o altura inventiva. Estas expresiones objetadas, están destinadas a obtener el resultado definiendo características adicionales del aparato o sistema y no son en modo alguno el resultado en si mismo. Amablemente se recuerda al Examinador que el resultado del aparato de las **Reivindicaciones 1 a 20** es la producción de



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTA - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPI – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

núcleos de reacción, de las **Reivindicaciones 21 a 27** la obtención de un producto de desintegración y de las **Reivindicaciones 28 a 31** la producción de núcleos de reacción.

Insistimos en que dar más detalles (perfectamente deducibles por un ingeniero de tecnología nuclear) limitaría innecesariamente el alcance de la reivindicación, y cualquier experto en la materia encontraría entonces el modo de sortear la patente empleando técnicos perfectamente conocida por él para resolver precisamente esas limitaciones que no aportarían nivel inventivo a la reivindicación.

Por lo expresado anteriormente, el **Aparato (300) de producción de núcleos de producto de reacción (324) a partir de núcleos de reactante, tal como se describe en la presente solicitud de patente de invención** de nuestro poderdante, **NO está comprendida en el estado de la técnica o anticipada**, ni se encuentran definidas ni mucho menos divulgada en el documento **D1** citado por el Examinador. Por lo tanto, la invención es **NOVEDOSA**, tiene **NIVEL INVENTIVO Y APLICACIÓN INDUSTRIAL**, es decir cumple con los requisitos de exigidos por la Decisión 486 del Acuerdo de la Comisión de la Comunidad Andina; además, estamos dando respuesta al Concepto Técnico notificado mediante Oficio No. 9517 del 3 de agosto de 2018.

Por lo anteriormente mencionado, solicito respetuosamente se proceda a **CONCEDER** la Patente de Invención titulada: **“APARATOS Y SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE NÚCLEOS DE PRODUCTO DE REACCIÓN A PARTIR DE NÚCLEOS DE REACTANTE”** a nombre de la sociedad **RESEARCH TRIANGLE INSTITUTE**, para las nuevas Reivindicaciones 1 a 31 inclusive.



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTA - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIP – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

Atentamente,

JAIME EDUARDO DELGADO VILLEGAS
C.C. No. 19.270.955 Bogotá
T.P. No. 43.308 C.S.J.

Anexo:

Nueva Descripción en cuarenta y ocho folios.
Nuevas Reivindicaciones (31) en seis folios.

NUEVAS REIVINDICACIONES

1. Un aparato (300) de producción de núcleos de producto de reacción (324) a partir de núcleos de reactante (322), caracterizado porque el aparato (300) comprende:
- unos núcleos de reactante (322) y unos núcleos moderadores (326) en donde los núcleos moderadores (326) comprenden núcleos de átomos que se eligen de un grupo que consiste en deuterio, tritio, helio-4, litio-7, berilio, boro-11, carbono, nitrógeno-15, oxígeno, flúor, neón-20 y neón-22; y
- una fuente de neutrones (316) que ni es un reactor nuclear ni un conjunto subcrítico, en proximidad suficiente a los núcleos de reactante (322) para producir núcleos de producto de reacción (324) por captura de neutrones (320);
- en donde los núcleos de reactante (322) comprenden molibdeno-98;
- en donde la tasa de captura de neutrones de núcleos de molibdeno-98 dividida entre la tasa de producción de neutrones por la fuente de neutrones (316) es mayor de el 1 %;
- en donde la masa de molibdeno-98 es inferior a 1000 kg;
- en donde la masa de núcleos moderadores es al menos 1 kg; y
- donde el aparato adicionalmente comprende un sistema de control de temperatura capaz de enfriar una región a una temperatura por debajo de los menos 23,15 °C, y donde la región enfriada está suficientemente próxima a la fuente de neutrones (316) para potenciar la tasa de captura de neutrones de núcleos de reactante (322).
2. El aparato (300) de la reivindicación 1, en el que la masa de molibdeno-98 es inferior a 100 kg.
3. El aparato (300) de la reivindicación 1, en el que la masa de molibdeno-98 es inferior a 25 kg.
4. El aparato (300) de la reivindicación 2, en el que la tasa de captura de neutrones de núcleos de reactante (322) dividida entre la tasa de producción de neutrones (320) por la fuente de neutrones (316) es mayor de el 5 %.
5. El aparato (300) de la reivindicación 1, que comprende un controlador de temperatura que mantiene al menos 2 regiones diferentes del aparato (300) a

diferentes temperaturas;

en el que al menos una región se enfría a una temperatura por debajo de menos 23,15 °C.

5 6. El aparato (300) de la reivindicación 5, en el que el controlador de temperatura comprende un fluido criogénico.

7. El aparato (300) de la reivindicación 1, que comprende además al menos un reflector de neutrones (402) que rodea al menos parcialmente las pluralidades de
10 núcleos de reactante (322) y núcleos moderadores (326), en donde el reflector (402) comprende núcleos moderadores (326) y en donde el espesor del reflector (402) es mayor de 20 centímetros y menor de 15 metros.

8. El aparato (300) de la reivindicación 1, que comprende además tanto un
15 reflector de neutrones externo como uno interno que reflejan neutrones hacia regiones que contienen mayores densidades de núcleos de reactante.

9. El aparato (300) de la reivindicación 1, en el que las pluralidades están dispuestas en capas paralelas y en el que al menos una capa es distinta de otra
20 capa basándose en la composición elemental, la concentración de especies químicas, la densidad o la temperatura.

10. El aparato (300) de la reivindicación 1, que comprende además una diana (406) que emite neutrones cuando es impactada por partículas aceleradas;
25 en el que la diana (406) comprende átomos elegidos de un grupo que consiste en deuterio, tritio, helio-4, litio-7, berilio, boro-11, carbono, nitrógeno-15, oxígeno, flúor, neón-20, neón-22, tántalo, tungsteno, plomo, mercurio, talio, torio, uranio, neptunio y otros transuránicos,

en el que las partículas aceleradas entran en el aparato a través de un
30 canal de acceso (404) que acepta más del 50 por ciento de las partículas aceleradas que impactan en el canal de acceso (404).

11. Un aparato (300) de producción de núcleos de producto de reacción (324) a partir de núcleos de reactante (322), comprendiendo el aparato (300):
35 una fuente de neutrones (316) que ni es un reactor nuclear ni un conjunto subcrítico;

una primera pluralidad de núcleos de reactante (322) que tienen una primera sección transversal de captura de neutrones térmicos microscópica promedio;

5 un conjunto de isótopos que consiste en aquellos isótopos cuyas especies de núcleos capturan al menos el 1 % de todos los neutrones (320) emitidos de una fuente de neutrones (316) y que no son núcleos de reactante (322);

una segunda pluralidad de núcleos que consiste en todos los núcleos del conjunto de isótopos, en donde al menos el 90 % de los núcleos tienen secciones transversales de captura de neutrones térmicos microscópicas que son inferiores a
10 la sección transversal de captura de neutrones térmicos microscópica de cualquiera de los núcleos de reactante, y en donde la masa total de la segunda pluralidad de núcleos es mayor de 1 kilogramo; y

en donde la fuente de neutrones (316) está en proximidad suficiente a los núcleos de reactante (322) para producir núcleos de producto de reacción (324)
15 por captura de neutrones.

12. El aparato (300) de la reivindicación 11, en el que los núcleos de reactante (322) comprenden molibdeno-98, en el que la tasa de captura de neutrones de núcleos de reactante (322) dividida entre la tasa de producción de neutrones (320)
20 por la fuente de neutrones (316) es mayor de el 1 %.

13. El aparato (300) de la reivindicación 11, en el que los núcleos de reactante (322) comprenden molibdeno-98, en donde la tasa de captura de neutrones de núcleos de reactante (322) dividida entre la tasa de producción de neutrones (320)
25 por la fuente de neutrones (316) es mayor de el 5 %.

14. El aparato (300) de la reivindicación 11, en donde el aparato comprende además núcleos de producto de reacción de molibdeno-99 y núcleos de producto de desintegración de tecnecio-99m.
30

15. El aparato (300) de la reivindicación 11, en el que la segunda pluralidad de núcleos comprende núcleos de átomos que se eligen de un grupo que consiste en deuterio, tritio, helio-4, litio-7, berilio, boro-11, carbono, nitrógeno-15, oxígeno, flúor, neón-20 y neón-22.
35

16. El aparato (300) de la reivindicación 11, que comprende además un

controlador de temperatura para mantener al menos dos regiones diferentes del aparato a diferentes temperaturas, en donde al menos una región se enfría a una temperatura por debajo de 250 grados Kelvin.

5 17. El aparato (300) de la reivindicación 16, en el que el controlador de temperatura comprende un fluido criogénico.

18. El aparato (300) de la reivindicación 15, que comprende además al menos un reflector de neutrones (402) que rodea al menos parcialmente la primera y la
10 segunda pluralidades de núcleos, en donde el reflector (402) comprende núcleos de la segunda pluralidad de núcleos y en donde el espesor del reflector (402) es mayor de 20 centímetros y menor de 15 metros.

19. El aparato (300) de la reivindicación 15, que comprende además tanto un
15 reflector de neutrones externo como uno interno que reflejan neutrones hacia regiones de las pluralidades que contienen mayores densidades de núcleos de reactante.

20. El aparato (300) de la reivindicación 11, que comprende además una diana
20 (406) configurada para emitir neutrones cuando es impactada por partículas aceleradas, en donde la diana (406) comprende átomos elegidos de un grupo que consiste en deuterio, tritio, helio-4, litio-7, berilio, boro-11, carbono, nitrógeno-15, oxígeno, flúor, neón-20, neón-22, tántalo, tungsteno, plomo, mercurio, talio, torio, uranio, neptunio y otros transuránicos; y

25 en el que las partículas aceleradas entran en el sistema a través de un canal de acceso (404) que acepta más del 50 por ciento de las partículas aceleradas que impactan en el canal de acceso (404).

21. Un sistema (400, 500) de producción de un producto de desintegración a
30 partir de un reactante usando una fuente de neutrones, que comprende:

una pluralidad de núcleos de reactante y una pluralidad de núcleos moderadores en donde los núcleos moderadores comprenden núcleos de átomos que se eligen de un grupo que consiste en deuterio, tritio, helio-4, litio-7, berilio, boro-11, carbono, nitrógeno-15, oxígeno, flúor, neón-20 y neón-22; y

35 una fuente de neutrones;

en donde los núcleos de reactante comprenden molibdeno-98;

- en donde la tasa de captura de neutrones de núcleos de molibdeno-98 dividida entre la tasa de producción de neutrones por la fuente de neutrones es mayor de el 1 %;
- en donde la masa de molibdeno-98 es inferior a 100 kg;
- 5 en donde la masa de núcleos moderadores es al menos 1 kg; y
- donde el sistema (400,500) adicionalmente comprende un sistema de control de temperatura capaz de enfriar una región a una temperatura por debajo de los menos 23,15 °C, y donde la región enfriada está suficientemente próxima a la fuente de neutrones para potenciar la tasa de captura de neutrones de núcleos
- 10 de reactante.
22. El sistema (400, 500) de la reivindicación 21, en el que la fuente de neutrones es un reactor nuclear o un conjunto subcrítico.
- 15 23. El sistema (400, 500) de la reivindicación 21, que comprende además una diana (406) que emite neutrones cuando es impactada por partículas aceleradas;
- en el que la diana (406) comprende átomos elegidos de un grupo que consiste en deuterio, tritio, helio-4, litio-7, berilio, boro-11, carbono, nitrógeno-15, oxígeno, flúor, neón-20, neón-22, tántalo, tungsteno, plomo, mercurio, talio, torio,
- 20 uranio, neptunio y otros transuránicos, y
- en el que las partículas aceleradas entran en el sistema a través de un canal de acceso (404) que acepta más del 50 por ciento de las partículas aceleradas que impactan en el canal de acceso (404).
- 25 24. El sistema de la reivindicación 21, que comprende además al menos un reflector de neutrones (402) que comprende núcleos moderadores, en donde el reflector de neutrones (402) rodea al menos parcialmente las capas de las pluralidades de reactante y núcleos moderadores, y en donde el espesor del reflector de neutrones es mayor de 20 centímetros y menor de 15 metros.
- 30 25. El sistema de la reivindicación 21, que comprende además tanto un reflector de neutrones externo como uno interno que reflejan neutrones hacia regiones de las pluralidades que contienen mayores densidades de núcleos de reactante.
- 35 26. El sistema de la reivindicación 21, que comprende además un controlador

de temperatura que mantiene al menos 2 regiones diferentes del aparato a diferentes temperaturas, en el que al menos una región se enfría a una temperatura por debajo de -menos 23,15 °C.

5 27. El sistema de la reivindicación 26, en el que el controlador de temperatura comprende un fluido criogénico.

28. Un sistema (400, 500, 700) para producir núcleos de producto de reacción, caracterizado porque comprende núcleos de reactante, una fuente de neutrones
10 en proximidad a los núcleos de reactante suficiente para producir núcleos de producto de reacción por captura de neutrones y en donde al menos 100 g del sistema se enfrían a una temperatura a o por debajo de menos 23,15 °C; y

donde el sistema (400, 500, 700) adicionalmente comprende un sistema de control de temperatura capaz de enfriar una región a una temperatura por debajo
15 de los menos 23,15 °C, y donde la región enfriada está suficientemente próxima a la fuente de neutrones para potenciar la tasa de captura de neutrones de núcleos de reactante.

29. Un sistema (400, 500, 700) según la reivindicación 28, en el que los núcleos
20 de reactante comprenden molibdeno-98.

30. Un sistema (400, 500, 700) según la reivindicación 29, en el que la tasa de captura de neutrones de núcleos de molibdeno-98 dividida entre la tasa de producción de neutrones por la fuente de neutrones es mayor de el 1 %.

25

31. Un sistema (400, 500, 700) según la reivindicación 30, que comprende además núcleos moderadores, en el que los núcleos moderadores comprenden núcleos de átomos que se eligen de un grupo que consiste en deuterio, tritio, helio-4, litio-7, berilio, boro-11, carbono, nitrógeno-15, oxígeno, flúor, neón-20 y
30 neón-22.

PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS DE CAPTURA DE NEUTRONES DE ALTA
EFICIENCIA

REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUD RELACIONADA

La presente solicitud reivindica el beneficio de prioridad de la solicitud de
5 patente provisional de EE.UU. N.º 62/033.691, titulada "HIGH EFFICIENCY
NEUTRON CAPTURE PRODUCT PRODUCTION", presentada el 6 de agosto
de 2014, que se incorpora en el presente documento en su totalidad por esta
referencia.

CAMPO TÉCNICO

10 La presente divulgación se refiere a captura de neutrones y a conjuntos
de reacción eficientes de neutrones y métodos. Más particularmente, la
presente divulgación se refiere a producir un material nuclear, tal como un
material de obtención de imágenes nuclear, mediante captura de neutrones por
un material nuclear reactante.

15 **ANTECEDENTES**

En la medicina nuclear, las sustancias radiactivas se usan en el
diagnóstico y procedimientos médicos terapéuticos. Radionúclidos elementales
se combinan frecuentemente con otros elementos para formar compuestos
químicos, o se combinan con compuestos farmacéuticos existentes para formar
20 productos radiofarmacéuticos. Estos productos radiofarmacéuticos, una vez
administrados a un paciente, pueden localizarse en órganos específicos o
receptores celulares. Esta propiedad de los productos radiofarmacéuticos
permite la obtención de imágenes del grado de un proceso de enfermedad en
el cuerpo, basándose en la función y fisiología celulares, en vez de aquellas
25 que se basan en cambios físicos en la anatomía del tejido. Adicionalmente, en

algunas enfermedades, los procedimientos en la medicina nuclear pueden identificar problemas médicos en una fase más temprana que otras pruebas de diagnóstico.

Un aspecto importante de la medicina nuclear es el uso de trazadores radiactivos. Un trazador radiactivo (también conocido como una marca radiactiva) es una sustancia que contiene un radioisótopo (RI) que se usa para medir la velocidad de un proceso bioquímico y para seguir el movimiento de una sustancia a través de un sistema natural tal como una célula o tejido. Un trazador radiactivo importante es el tecnecio-99m (representado simbólicamente ^{99m}Tc), que puede ser fácilmente detectado en el cuerpo por equipo de obtención de imágenes médicas.

El ^{99m}Tc es un isómero nuclear metaestable del tecnecio-99. "m" indica que éste es un isómero nuclear metaestable, cuya semivida es 6 horas. Ésta es considerablemente más larga (por muchos órdenes de magnitud) que la mayoría de los isómeros nucleares que experimentan desintegración gamma. Así, la semivida del ^{99m}Tc es muy larga en términos de desexcitación promedio, incluso corta en comparación con muchas semividas de desintegración radiactiva comúnmente observadas, y en comparación con los radionúclidos usados en muchos tipos de pruebas de medicina nuclear.

El ^{99m}Tc se usa en aplicaciones médicas de isótopos radiactivos. Es un trazador radiactivo que puede detectarse dentro del cuerpo humano por equipo de obtención de imágenes médicas. Es muy adecuado para esta función debido a que emite fácilmente fotones detectables a energías convenientes para la obtención de imágenes médicas. Adicionalmente, el ^{99m}Tc también se disuelve en agua regia, ácido nítrico y ácido sulfúrico concentrado, pero no es

soluble en ácido clorhídrico de ninguna concentración.

Los productos radiofarmacéuticos basados en ^{99m}Tc se usan para la obtención de imágenes y estudios funcionales del cerebro, hueso, miocardio, tiroides, pulmones, hígado, vesícula biliar, riñones, esqueleto, sangre y
5 tumores.

El ^{99m}Tc se usa en aproximadamente 20 millones de procedimientos médicos de diagnóstico nuclear cada año. Aproximadamente el 85 por ciento de los procedimientos de diagnóstico por imágenes en la medicina nuclear usan este isótopo. Dependiendo del tipo de procedimiento de medicina nuclear,
10 el ^{99m}Tc está marcado o unido a un fármaco que transporta el ^{99m}Tc a una localización prevista.

Una ventaja importante del ^{99m}Tc es que, debido a su semivida de 6,0058 horas para la emisión gamma, el 93,7 por ciento del ^{99m}Tc se desintegra a tecnecio-99 en 24 horas. Así, la corta semivida del isómero nuclear
15 metaestable, en términos de actividad en el ser humano y metabolismo, permite procedimientos de barrido que recogen datos rápidamente pero mantienen baja exposición del paciente a radiación total. El estado fundamental del tecnecio-99 resultante, que tiene una semivida de 211.000 años que se desintegra a rutenio-99 estable, emite partículas beta suaves (electrones de
20 origen nuclear) sin causar una significativa exposición a rayos gamma. Todas estas características garantizan que el uso de ^{99m}Tc representa carga de radiación mínima en el cuerpo, proporcionando beneficios significativos de la obtención de imágenes médicas.

Debido a su corta semivida, el ^{99m}Tc usado en medicina nuclear
25 normalmente se extrae de generadores de ^{99m}Tc que contienen molibdeno-99

(^{99}Mo), que tiene una semivida de 2,75 días y es el núclido padre usual para el $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Desafortunadamente, una cantidad significativa del ^{99}Mo producido para el uso de médico de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ procede de la fisión de uranio altamente enriquecido de solo cinco reactores en el mundo: NRU en Canadá; BR2 en Bélgica; 5 SAFARI-1 en Sudáfrica; HFR (Petten) en Los Países Bajos; y el reactor OSIRIS de Saclay, Francia.

Un incidente de fisión única inducida conocida se representa esquemáticamente en la FIG. 1. Un neutrón 100 colisiona con un núcleo de uranio-235 (^{235}U) 102, que absorbe el neutrón 100 como se representa por el 10 núcleo de uranio-236 104 que experimenta la fisión y que produce neutrones 106, radiación gamma 110, un núcleo de ^{99}Mo 112 (aproximadamente el 6 % de las veces), y otros productos de fisión 114. El núcleo de ^{99}Mo 112 se desintegra para producir un núcleo de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 116, y otras radiaciones 120 que incluyen una partícula beta (un electrón de origen nuclear) y antineutrinos 118.

15 También se produce una pequeña cantidad de ^{99}Mo a partir de uranio poco enriquecido en el nuevo reactor OPAL en Australia, además de algunos otros sitios en el mundo. Se produce una cantidad incluso más pequeña de ^{99}Mo por la activación por neutrones de molibdeno-98 usando un método de producción de neutrones basado en acelerador. Más comúnmente, una diana 20 de uranio con ^{235}U altamente enriquecido (hasta el 90 por ciento de ^{235}U) o uranio poco enriquecido (menos del 20 por ciento de ^{235}U) se irradia con neutrones para formar ^{99}Mo como un producto de fisión, que entonces se separa de otros productos de fisión en una celda caliente.

Un proceso de activación de neutrones se muestra en la FIG. 2. En la 25 FIG. 2, un neutrón 200 colisiona con un núcleo 202 de ^{98}Mo que absorbe el

neutrón 200 y produce un núcleo 204 de ^{99}Mo . El núcleo de ^{99}Mo 204 se desintegra entonces para producir un núcleo 206 de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ y otras radiaciones 210 que incluyen un electrón (radiación beta) y antineutrinos. El generador de neutrones puede ser un acelerador de deuterio/tritio ("acelerador D-T") o puede
5 operar usando una reacción nuclear productora de neutrones alternativa, por ejemplo, espalación.

Desafortunadamente, los actuales métodos de producción de neutrones basados en acelerador tienden a crear ^{99}Mo y $^{99\text{m}}\text{Tc}$ de forma poco rentable o a baja eficiencia de neutrones, con no más de algunas partículas de ^{99}Mo
10 creadas por cada 1000 neutrones producidos. Adicionalmente, por motivos políticos y de seguridad, dos reactores nucleares viejos (NRU y HFR) se han parado repetidamente durante periodos de mantenimiento prolongados. Estos dos reactores producen una gran proporción del suministro mundial de ^{99}Mo . La escasez global resultante de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ha sugerido la necesidad de capacidad de
15 producción adicional.

Por tanto, existe la necesidad de sistemas y métodos de uso de una fuente de neutrones para producir isótopos o radioisótopos (tales como $^{99\text{m}}\text{Tc}$) a una alta eficiencia de manera que se obvie la necesidad de los actuales esquemas de producción en reactor nuclear. Más generalmente, se necesita un
20 esquema para producir la mayoría de los isótopos sin el uso de reactores nucleares o conjuntos subcríticos.

SUMARIO

Este sumario se proporciona para introducir de una forma simplificada conceptos que se describen adicionalmente en las siguientes descripciones
25 detalladas. Este sumario no pretende identificar características clave o

características esenciales de la materia reivindicada, ni debe interpretarse como limitante del alcance de la materia reivindicada.

Según al menos una realización, un aparato para producir núcleos de producto de reacción a partir de núcleos de reactante incluye una pluralidad de
5 núcleos de reactante y una pluralidad de núcleos moderadores. Los núcleos moderadores incluyen núcleos de átomos que se eligen de un grupo que consiste en deuterio, tritio, helio-4, litio-7, berilio, boro-11, carbono, nitrógeno-15, oxígeno, flúor, neón-20 y neón-22. Una fuente de neutrones que ni es un reactor nuclear ni un conjunto subcrítico está en proximidad suficiente a los
10 núcleos de reactante para producir núcleos de producto de reacción por captura de neutrones. Los núcleos de reactante incluyen molibdeno-98. La tasa de captura de neutrones de núcleos de molibdeno-98 dividida entre la tasa de producción de neutrones por la fuente de neutrones es mayor de aproximadamente el 1 %. La masa de molibdeno-98 es inferior a
15 aproximadamente 1000 kg. La masa de núcleos moderadores es al menos 1 kg. Para fines de la presente divulgación, el término conjunto subcrítico es cualquier conjunto con un factor de multiplicación de neutrones superior a 0,6 e inferior a 1.

En al menos un ejemplo, la tasa de captura de neutrones de núcleos de reactante dividida entre la tasa de producción de la fuente de neutrones es
20 mayor de aproximadamente el 5 %.

En al menos un ejemplo, se usa el control de la temperatura capaz de mantener al menos 2 regiones diferentes del aparato a diferentes temperaturas, y al menos una región se enfría a una temperatura por debajo de 250 grados
25 Kelvin (- 23,15 °C). El control de la temperatura puede incluir el uso de un fluido

criogénico.

En al menos un ejemplo, al menos un reflector de neutrones rodea al menos parcialmente las pluralidades de núcleos de reactante y núcleos moderadores. El reflector incluye núcleos moderadores. El espesor del reflector es mayor de aproximadamente 20 centímetros, y en principio puede ser ilimitadamente grueso, aunque en la práctica un reflector económicamente diseñado puede ser inferior a aproximadamente 15 metros de espesor, y más preferentemente inferior a 3 metros de espesor. Dentro de la descripción de la presente divulgación, los reflectores se describirán como entre 20 centímetros y 15 metros, con el entendimiento de que son posibles reflectores más gruesos.

En al menos un ejemplo, tanto un reflector de neutrones externo como uno interno reflejan los neutrones hacia regiones que contienen mayores densidades de núcleos de reactante. En algunas realizaciones, al menos un reflector producirá la retrodispersión de neutrones en una única colisión, mientras que en otras realizaciones son necesarias varias colisiones para producir una inversión completa o casi completa en la dirección de un movimiento del neutrón.

En al menos un ejemplo, las pluralidades están dispuestas en una o más capas aproximadamente paralelas, siendo al menos una capa distinta de otra capa basándose en la composición elemental, concentración de especies químicas, densidad o temperatura.

En al menos un ejemplo, una diana está configurada para emitir neutrones cuando es impactada por partículas aceleradas. La diana incluye átomos elegidos de un grupo que consiste en deuterio, tritio, helio-4, litio-7, berilio, boro-11, carbono, nitrógeno-15, oxígeno, flúor, neón-20, neón-22,

tántalo, tungsteno, plomo, mercurio, talio, torio, uranio, neptunio y otros transuránicos. Las partículas aceleradas entran en el sistema mediante un canal de acceso configurado para aceptar más del 50 por ciento de las partículas aceleradas que impactan en el canal de acceso. El canal de acceso
5 aquí es cualquier trayectoria eficaz para que la partícula de interés entre en el aparato e impacte con una diana.

Según al menos una realización, un aparato para producir núcleos de producto de reacción a partir de núcleos de reactante incluye una pluralidad de núcleos de reactante que tienen una primera sección transversal de captura de
10 neutrones térmicos microscópica promedio y una pluralidad de núcleos moderadores. Para los fines de la presente divulgación, promedio en este contexto significa el promedio ponderado de todos los núcleos de interés; por ejemplo, la sección transversal microscópica promedio de 10 moléculas de agua ligera y 2 átomos de aluminio sería aproximadamente la suma de
15 $10 \times 2 \times (\text{sección transversal de hidrógeno-1}) + 10 \times 1 \times (\text{sección transversal de oxígeno-16}) + 2 \times 1 \times (\text{sección transversal de aluminio-27})$, conjuntamente dividido entre $(20 + 10 + 2)$. Por este documento se define un conjunto de isótopos que consiste en aquellos isótopos cuyas especies de núcleos capturan al menos el 1 % de todos los neutrones emitidos de la fuente de neutrones y que no son
20 núcleos de reactante. También se define una segunda pluralidad de núcleos que consiste en todos los núcleos del conjunto de isótopos, en la que al menos aproximadamente el 90 % de los núcleos tienen secciones transversales de captura de neutrones térmicos microscópicas que son inferiores a la sección transversal de captura de neutrones térmicos microscópica de cualquiera de los
25 núcleos de reactante. Para los fines de la presente divulgación, especies de

núcleos en este contexto significa los núcleos de un isótopo particular, tal como hidrógeno-2, oxígeno-16, etc.

Con el fin de interpretación, el “conjunto de isótopos que consiste en aquellos isótopos cuyas especies de núcleos capturan al menos el 1 % de todos los neutrones emitidos de la fuente de neutrones...” debe entenderse que implica “la configuración de fuente de neutrones que se utiliza”. Puede haber muchas formas de configurar una fuente de neutrones para alterar los isótopos dentro del conjunto de isótopos, pero la configuración particular que se usa para producir los núcleos de producto de reacción es la configuración a la que se aplican las reivindicaciones.

La masa total de núcleos moderadores es mayor de aproximadamente 1 kilogramo. Una fuente de neutrones que ni es un reactor nuclear ni un conjunto subcrítico está en proximidad suficiente a los núcleos de reactante para producir núcleos de producto de reacción por captura de neutrones.

En al menos un ejemplo, los núcleos de reactante comprenden molibdeno-98, y la tasa de captura de neutrones de núcleos de reactante dividida entre la tasa de producción de neutrones por la fuente de neutrones es mayor de aproximadamente el 1 %.

En al menos un ejemplo, los núcleos de reactante comprenden molibdeno-98, y la tasa de captura de neutrones de núcleos de reactante dividida entre la tasa de producción de la fuente de neutrones es mayor de aproximadamente el 5 %.

En al menos un ejemplo, el aparato incluye núcleos de producto de reacción de molibdeno-99 y núcleos de producto de desintegración de tecnecio-99m.

En al menos un ejemplo, los núcleos moderadores comprenden núcleos de átomos que se eligen de un grupo que consiste en deuterio, tritio, helio-4, litio-7, berilio, boro-11, carbono, nitrógeno-15, oxígeno, flúor, neón-20 y neón-22.

5 En al menos un ejemplo, el control de la temperatura se usa para mantener al menos dos regiones diferentes del aparato a diferentes temperaturas, y al menos región se enfría a una temperatura por debajo de aproximadamente 250 grados Kelvin (- 23,15 °C). El control de la temperatura puede incluir el uso de un fluido criogénico. Al menos un reflector de neutrones
10 puede rodear al menos parcialmente las pluralidades de núcleos de reactante y núcleos moderadores, incluyendo el reflector núcleos moderadores y que tiene un espesor que es mayor de aproximadamente 20 centímetros y menor de aproximadamente 15 metros. El aparato puede incluir tanto un reflector de neutrones externo como uno interno que reflejan los neutrones hacia regiones
15 de las pluralidades que contienen mayores densidades de núcleos de reactante.

En al menos un ejemplo, una diana está configurada para emitir neutrones cuando es impactada por partículas aceleradas, y la diana incluye átomos elegidos de un grupo que consiste en deuterio, tritio, helio-4, litio-7,
20 berilio, boro-11, carbono, nitrógeno-15, oxígeno, flúor, neón-20, neón-22, tántalo, tungsteno, plomo, mercurio, talio, torio, uranio, neptunio y otros transuránicos. Las partículas aceleradas entran en el sistema mediante un canal de acceso configurado para aceptar más del 50 por ciento de las partículas aceleradas que impactan en el canal de acceso.

25 Según al menos una realización, un método de producción de núcleos de

producto de desintegración a partir de un isótopo reactante usando una fuente de neutrones incluye preparar una pluralidad de núcleos de reactante que tiene una primera sección transversal de captura de neutrones térmicos microscópica promedio y una pluralidad de núcleos moderadores. Por este documento se define un conjunto de isótopos que consiste en aquellos isótopos cuyas especies de núcleos capturan al menos el 1 % de todos los neutrones emitidos de la fuente de neutrones y que no son núcleos de reactante. También se define una segunda pluralidad de núcleos que consiste en todos los núcleos del conjunto de isótopos, en al que al menos aproximadamente el 90 % de los núcleos tienen secciones transversales de captura de neutrones térmicos microscópicas que son inferiores a la sección transversal de captura de neutrones térmicos microscópica de cualquiera de los núcleos de reactante. La masa total de núcleos moderadores es mayor de aproximadamente 1 kilogramo. El método incluye generar neutrones e irradiar la pluralidad con los neutrones tal que se genere un producto de reacción cuando los neutrones son capturados por los núcleos de reactante. El método incluye extraer de la pluralidad un producto de desintegración que se genera por desintegración radiactiva del isótopo de producto de reacción.

En al menos un ejemplo, los neutrones se generan por un reactor nuclear o un conjunto subcrítico.

En al menos un ejemplo, los neutrones se generan por una fuente que ni es un reactor ni un conjunto subcrítico.

Los núcleos de reactante pueden incluir molibdeno-98, en cuyo caso el producto de desintegración incluye tecnecio-99m. En ese caso, la tasa de captura de neutrones de núcleos de reactante dividida entre la tasa de

producción de neutrones es mayor de aproximadamente el 1 %.

En al menos un ejemplo, los núcleos moderadores incluyen núcleos de átomos que se eligen de un grupo que consiste en deuterio, tritio, helio-4, litio-7, berilio, boro- 11, carbono, nitrógeno-15, oxígeno, flúor, neón-20 y neón-22.

5 Las pluralidades de núcleos de reactante y moderadores puede estar rodeada al menos parcialmente con al menos un reflector de neutrones que incluye núcleos moderadores y cuyo espesor es mayor de aproximadamente 20 centímetros y menor de aproximadamente 15 metros. Tanto un reflector de neutrones externo como uno interno puede reflejar neutrones hacia regiones
10 que contienen mayores densidades de núcleos de reactante.

En al menos un ejemplo, el control de la temperatura es capaz de mantener al menos 2 regiones diferentes del aparato a diferentes temperaturas, y al menos una región se enfría a una temperatura por debajo de 250 grados Kelvin (-23,15 °C). El control de la temperatura puede usar un fluido criogénico.

15 En al menos un ejemplo, una diana está configurada para emitir neutrones cuando es impactada por partículas aceleradas, incluyendo la diana átomos elegidos de un grupo que consiste en deuterio, tritio, helio-4, litio-7, berilio, boro-11, carbono, nitrógeno-15, oxígeno, flúor, neón-20, neón-22, tántalo, tungsteno, plomo, mercurio, talio, torio, uranio, neptunio y otros
20 transuránicos. Las partículas aceleradas entran en el sistema mediante un canal de acceso configurado para aceptar más del 50 por ciento de las partículas aceleradas que impactan en el canal de acceso.

Según al menos una realización, un sistema para producir un producto de desintegración a partir de un reactante usando una fuente de neutrones incluye
25 una pluralidad de núcleos de reactante, una pluralidad de núcleos moderadores

y una fuente de neutrones. Los núcleos moderadores incluyen núcleos de átomos que se eligen de un grupo que consiste en deuterio, tritio, helio-4, litio-7, berilio, boro-11, carbono, nitrógeno-15, oxígeno, flúor, neón-20 y neón-22. Los núcleos de reactante incluyen molibdeno-98. La tasa de captura de neutrones de núcleos de molibdeno-98 dividida entre la tasa de producción de la fuente de neutrones es mayor de aproximadamente el 1 %. La masa de molibdeno-98 es inferior a aproximadamente 100 kg, y la masa de núcleos moderadores es al menos 1 kg.

En al menos un ejemplo, la fuente de neutrones es un reactor nuclear o conjunto subcrítico.

En al menos un ejemplo, los neutrones se generan por una fuente que ni es un reactor ni un conjunto subcrítico.

En al menos un ejemplo, los núcleos moderadores incluyen núcleos de átomos que se eligen de un grupo que consiste en deuterio, tritio, helio-4, litio-7, berilio, boro-11, carbono, nitrógeno-15, oxígeno, flúor, neón-20 y neón-22.

En al menos un ejemplo, una diana está configurada para emitir neutrones cuando es impactada por partículas aceleradas. La diana incluye átomos elegidos de un grupo que consiste en deuterio, tritio, helio-4, litio-7, berilio, boro-11, carbono, nitrógeno-15, oxígeno, flúor, neón-20, neón-22, tántalo, tungsteno, plomo, mercurio, talio, torio, uranio, neptunio y otros transuránicos.

Las partículas aceleradas pueden entrar en el sistema mediante un canal de acceso configurado para aceptar más del 50 por ciento de las partículas aceleradas que impactan en el canal de acceso.

En al menos un ejemplo, al menos un reflector de neutrones incluye

núcleos moderadores, y el reflector de neutrones rodea al menos parcialmente las capas de las pluralidades de núcleos de reactante y moderadores. El espesor del reflector de neutrones es mayor de aproximadamente 20 centímetros y menor de aproximadamente 15 metros.

- 5 En al menos un ejemplo, tanto un reflector de neutrones externo como uno interno reflejan neutrones hacia regiones de las pluralidades que contienen mayores densidades de núcleos de reactante.

En al menos un ejemplo, el control de la temperatura es capaz de mantener al menos dos regiones diferentes del aparato a diferentes
10 temperaturas, en el que al menos una región se enfría a una temperatura por debajo de 250 grados Kelvin (-23,15 °C). El control de la temperatura puede incluir un fluido criogénico.

Según al menos una realización, un proceso incluye combinar una pluralidad de núcleos de reactante y una pluralidad de núcleos moderadores.
15 Los núcleos moderadores incluyen núcleos de átomos que se eligen de un grupo que consiste en deuterio, tritio, helio- 4, litio-7, berilio, boro-11, carbono, nitrógeno-15, oxígeno, flúor, neón-20 y neón- 22. Una fuente de neutrones que ni es un reactor nuclear ni un conjunto subcrítico se pone en proximidad suficiente a los núcleos de reactante para producir núcleos de producto de
20 reacción por captura de neutrones. Los núcleos de reactante incluyen molibdeno-98. La tasa de captura de neutrones de núcleos de molibdeno-98 dividida entre la tasa de producción de neutrones es mayor de aproximadamente el 1 %. La masa de molibdeno-98 es inferior a aproximadamente 100 kg, y la masa de núcleos moderadores es al menos 1
25 kg. La combinación se irradia con neutrones tal que se generen núcleos

radiactivos de producto de reacción cuando los neutrones son capturados por los núcleos de reactante.

En al menos un ejemplo, los núcleos de reactante incluyen molibdeno-98 y la tasa de captura de neutrones de núcleos de reactante dividida entre la tasa de producción de neutrones por la fuente de neutrones es mayor de aproximadamente el 1 %. Al menos uno de los núcleos de producto de reacción y núcleos de producto de desintegración puede extraerse de la combinación irradiada. Los núcleos de producto de desintegración pueden incluir tecnecio-99m.

Según al menos una realización, un sistema para producir núcleos de producto de reacción incluye núcleos de reactante, una fuente de neutrones en proximidad suficiente a los núcleos de reactante para producir núcleos de producto de reacción por captura de neutrones, y el control de la temperatura capaz de refrigerar al menos 1 kg del sistema a una temperatura a o por debajo de aproximadamente 250 grados Kelvin (-23,15 °C).

En al menos un ejemplo, la tasa de captura de neutrones de núcleos de molibdeno-98 dividida entre la tasa de producción de neutrones por la fuente de neutrones es mayor de aproximadamente el 1 %. Núcleos moderadores pueden incluir núcleos de átomos que se eligen de un grupo que consiste en deuterio, tritio, helio-4, litio-7, berilio, boro-11, carbono, nitrógeno-15, oxígeno, flúor, neón-20 y neón-22. Los núcleos de reactante pueden incluir molibdeno-98.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

El sumario previo y las siguientes descripciones detalladas deben leerse en vista de los dibujos, que ilustran realizaciones y características a modo de

ejemplo particulares como se describen brevemente más adelante. El sumario y las descripciones detalladas, sin embargo, no se limitan a solo aquellas realizaciones y características explícitamente ilustradas.

La FIG. 1 ilustra un proceso de fisión inducida conocido para producir
5 molibdeno-99 y tecnecio-99m.

La FIG. 2 ilustra un proceso de activación de neutrones conocido para producir molibdeno-99 y tecnecio-99m.

La FIG. 3 es una vista en sección transversal de un aparato para producir núcleos de producto de reacción a partir de núcleos de reactante según al
10 menos una realización.

La FIG. 4 es una vista en perspectiva de otro aparato para producir núcleos de producto de reacción a partir de núcleos de reactante según al menos otra realización.

La FIG. 5 es una vista esquemática del interior del aparato de la FIG. 4.

15 La FIG. 6 es una vista esquemática del interior de un aparato para producir núcleos de producto de reacción a partir de núcleos de reactante según otra realización más.

La FIG. 7 es una vista en sección transversal de un sistema para la producción de especies nucleares deseadas según todavía otra realización.

20 La FIG. 8 ilustra un acelerador de partículas que dirige un haz de alta energía de partículas en el sistema de la FIG. 7 según al menos una realización.

La FIG. 9 ilustra un sistema de control térmico en uso con un recipiente de envolturas en capas.

25 **DESCRIPCIONES DETALLADAS**

Estas descripciones se presentan con detalles suficientes para proporcionar un entendimiento de una o más realizaciones particulares de materias inventivas más amplias. Estas descripciones exponen y ejemplifican características particulares de aquellas realizaciones particulares sin limitar las materias inventivas a las realizaciones y características explícitamente descritas. Consideraciones en vista de estas descripciones darán probablemente lugar a realizaciones y características adicionales y similares sin apartarse del alcance de las materias inventivas. Aunque pueden estar implicadas etapas referentes a características de procesos o métodos, no se hace implicación de ningún orden o secuencia particular entre etapas expresadas o implicadas, a menos que se establezca explícitamente un orden o secuencia.

Para promover un entendimiento de las siguientes descripciones de realizaciones a modo de ejemplo particulares, y para aclarar que el alcance completo de las descripciones se extiende más allá de cualquier realización particularmente descrita, pueden considerarse varios principios subyacentes sin imponer limitaciones a las realizaciones a modo de ejemplo. Según estos principios subyacentes, la producción de isótopos puede implementarse:

- 1) Usando una fuente de neutrones que ni es un reactor nuclear ni un conjunto subcrítico;
- 2) Logrando una alta probabilidad de captura de neutrones por núcleos de reactante previstos por elección de núcleos moderadores;
- 3) Devolviendo los neutrones escapados o fugados a una cámara de reacción por el uso de un reflector de neutrones; y/o
- 4) Opcionalmente usando mejora de temperatura de la captura de

neutrones, preferentemente mejora de temperatura baja de la captura de neutrones.

Es decir, pueden proporcionarse neutrones para las reacciones de captura de neutrones sin el uso de un reactor de fisión nuclear o un conjunto subcrítico, en el que material naturalmente fisible en una cantidad subcrítica o disposición se somete a algún grado de fisión inducida sin alcanzar la criticidad. Para los fines de la presente divulgación, debe entenderse que el término conjunto subcrítico implica la posibilidad de un reactor subcrítico. En las siguientes descripciones, estructuras especialmente diseñadas se implementan para hacer que los neutrones entrantes sean moderados y reflejados de tal forma que aumenten enormemente sus probabilidades de ser capturados por un núcleo de reactante previsto dado tal como molibdeno-98 (^{98}Mo). Los recipientes y alojamientos descritos a continuación están configurados, generalmente, para minimizar la fuga de neutrones y para maximizar la dispersión interna de neutrones, como una trampa de flujo, pero no en el contexto o confines de un reactor nuclear. Opcionalmente, la refrigeración de un volumen que contiene núcleos de reactante, por ejemplo usando un fluido criogénico como helio líquido, oxígeno, nitrógeno o deuterio, aumenta la probabilidad de captura de neutrones por un núcleo de reactante previsto. Para los fines de esta descripción, una cámara de reacción es cualquier volumen en el que los núcleos de reactante capturan neutrones.

Una excepción al principio 1 subyacente descrito anteriormente, encontrada en algunos de las realizaciones sucesivas, es cuando la fuente de neutrones podría ser un reactor nuclear o conjunto subcrítico. Por ejemplo, un reactor nuclear o conjunto subcrítico podría configurarse para fugar neutrones

de manera que se proporcione una fuente de neutrones para algunas de las realizaciones descritas más adelante. Por ejemplo, en una realización, un reactor nuclear o conjunto subcrítico se localiza en proximidad suficiente a los núcleos de reactante para producir núcleos de producto de reacción por
5 captura de neutrones a una tasa que supera 10^7 capturas de neutrones/segundo. En estos ejemplos, la geometría de tanto el reactor nuclear como el aparato podría modificarse para facilitar el transporte de neutrones del reactor nuclear o conjunto subcrítico a los volúmenes de aparato que contienen los núcleos de reactante.

10 Simulaciones de modelado indican que un sistema que incluye un recipiente de 1-3 metros de diámetro (esferas y envolturas esféricas concéntricas) que implementa al menos a algún grado algunos de los principios anteriores puede producir muchos radioisótopos ("RI") difíciles de fabricar, que incluyen ^{99}Mo , a eficiencias de neutrones que superan el actual estado de la
15 técnica, donde la eficiencia de neutrones se define como:

Eficiencia de neutrones = (tasa de producción de núcleos de producto de reacción)/(tasa de producción de neutrones)

Para esta definición, se entiende que las tasas de producción descritas son aquellas observadas durante los periodos de operación, más
20 específicamente durante el periodo de operación cuando los neutrones están siendo producidos. Para esta definición, también se entiende que los neutrones en la "tasa de producción de neutrones" del denominador se refieren a los neutrones inicialmente producidos (por ejemplo, por espalación nuclear, reacciones DT, de fisión) en vez de los neutrones posteriormente producidos
25 debido a reacciones secundarias (por ejemplo, tales como de reacciones

(n, xn)). Los neutrones inicialmente producidos, por ejemplo, incluirían tanto neutrones que se originan externos al aparato y luego incidentes con el aparato, como también los neutrones producidos dentro del aparato por la acción de una reacción de partículas cargadas tal como una reacción DT o una
5 reacción de espalación. La multiplicación de neutrones posterior, por ejemplo las reacciones (n, xn), no contribuyen a aumentar el denominador. También se entiende, para esta definición, que se considera que las tasas mencionadas en el numerador y el denominador están promediadas con respecto a intervalos de tiempo cortos, preferentemente minutos y más preferentemente segundos, en
10 vez de con respecto a periodos de tiempo largos, tales como horas, días o más. Las tasas descritas deben considerarse en el contexto de tasas instantáneas en vez de tasas promediadas con respecto a periodos de tiempo largos tales como horas.

Las simulaciones indican que pueden lograrse valores de eficiencia de
15 neutrones de hasta el 25 por ciento tras la implementación de una o más de las realizaciones descritas más adelante.

Podrían realizarse mayores eficiencias tras la mejora de uno o más de las realizaciones por ciertas mejoras en la geometría del reflector, temperatura y/o composición elemental. Se describen varias realizaciones de un sistema para
20 la producción de al menos un isótopo en las siguientes descripciones detalladas y se representan en los dibujos. En al menos un de tales realizaciones, un sistema para la producción de isótopos incluye una cámara de reacción en la que están presentes núcleos de reactante, y en la que pueden estar presentes núcleos moderadores. Los neutrones para las
25 reacciones de captura de neutrones se introducen en la cámara de reacción de

una fuente de neutrones externa, o se producen localmente, por ejemplo mediante espalación cuando una diana de espalación dentro de o cerca de la cámara de reacción es impactada por partículas aceleradas. Al menos algunos de los neutrones que inicialmente evitan las regiones de captura y escape con
5 altas concentraciones de núcleos de reactante son posteriormente reflejados de nuevo hacia aquellas regiones, para aumentar la probabilidad de que cada neutrón sea capturado por los núcleos de reactante previstos. Disposiciones de reflectores únicos y múltiples se describen a continuación. El reflector puede tener una doble función como pared física de la cámara de reacción. El
10 reflector puede formarse usando núcleos moderadores dentro de la cámara de reacción.

Las siguientes descripciones se refieren a núcleos de reactante, núcleos de producto de reacción, núcleos de producto de desintegración y núcleos moderadores. A menos que se establezca o implique explícitamente de otro
15 modo, tales referencias se hacen sin consideración a si los electrones están unidos o no en capas de electrones alrededor de los núcleos. Estas descripciones se refieren, por tanto, tanto a disposiciones atómicas ionizadas como de carga equilibrada de los núcleos descritos, de forma que los núcleos descritos puedan ser aquellos de átomos sin carga, átomos ionizados, átomos
20 libres y átomos unidos en enlaces moleculares que incluyen enlaces iónicos y covalentes. Los núcleos descritos pueden estar presentes en formas de sólido, gas, gel, líquido, u otras formas. Las especies de reactante y moderadoras pueden combinarse como mezclas desordenadas, matrices regulares y compuestos moleculares antes de la exposición a los neutrones y tales
25 disposiciones pueden mantenerse, alterarse o perderse tras, por ejemplo,

reacciones de captura de neutrones que conducen a desintegraciones posteriores. Los núcleos de reactante pueden concentrarse en una única localización o dispersarse en todo el aparato. Los núcleos de reactante pueden, si están en forma sólida, concentrarse en una o más pastillas, o en láminas con grandes áreas superficiales, o en otras formas. Los núcleos de reactante pueden estar en disolución dentro de un disolvente, o pueden ser un componente en un líquido, o pueden estar en forma gaseosa.

Un aparato 300 para producir núcleos de producto de reacción a partir de núcleos de reactante se muestra en vista en sección transversal en la FIG. 3. El aparato 300 formado en vista en sección transversal como un sector circular define una cámara de reacción 304. Las paredes laterales radiales 306 divergen de una pared de extremo proximal 310 a una pared de extremo distal 312 de forma que la cámara 304 se expande de la pared de extremo proximal a distal. Un canal de acceso 314 formado a través de la pared de extremo proximal 310 permite que los neutrones entren en la cámara de reacción 304 de una fuente de neutrones 316, que en la realización ilustrada no es un reactor nuclear o un conjunto subcrítico. La fuente de neutrones 316 está en proximidad suficiente a los núcleos de reactante para producir núcleos de producto de reacción por captura de neutrones. El elemento 318 en la FIG. 3 representa un canal o proceso por el que, por ejemplo, reactantes, productos u otras especies químicas o nucleares, entran en o se extraen de la cámara 304.

Las paredes de la cámara de reacción o cámaras sirven opcionalmente de reflectores de neutrones, rodeando la cámara de reacción 304, devolviendo al menos algunos de los neutrones que llegan y/o entran en las paredes a la cámara de reacción 304 para aumentar la probabilidad de que cada neutrón

sea capturado por los núcleos de reactante previstos. Las paredes incluyen núcleos moderadores, de forma que las paredes están compuestas de material de relación de moderación alta que tienen una sección transversal de captura de neutrones térmicos microscópica baja. Por ejemplo, las paredes pueden
5 incluir berilio y/o carbono. Las paredes, en términos de espesor, en al menos una realización, son mayores de aproximadamente 20 centímetros e inferiores a aproximadamente 15 metros.

Dentro de la cámara de reacción 304, los neutrones 320 son preferentemente capturados por núcleos de reactante 322 para producir los
10 núcleos de producto de reacción 324 deseados. Los núcleos moderadores 326 también están presentes en la cámara de reacción 304 en la realización ilustrada, sirviendo los núcleos moderadores también opcionalmente de núcleos reflectantes. Un espesor suficiente de núcleos reflectantes también puede servir de reflector en varias realizaciones geométricas.

15 En al menos una realización, la pluralidad de núcleos de reactante 322 tiene una primera sección transversal de captura de neutrones térmicos microscópica promedio. También incluido y definido por este documento es un conjunto de isótopos que consiste en aquellos isótopos cuyas especies de núcleos capturan al menos el 1 % de todos los neutrones emitidos de la fuente
20 de neutrones y que no son núcleos de reactante. También se define una segunda pluralidad de núcleos que consiste en todos los núcleos del conjunto de isótopos, en la que al menos aproximadamente el 90 % de los núcleos tienen secciones transversales de captura de neutrones térmicos microscópicas que son inferiores a la sección transversal de captura de
25 neutrones térmicos microscópica de cualquiera de los núcleos de reactante.

En al menos una realización, la masa total de núcleos moderadores es mayor de aproximadamente 1 kilogramo. En al menos una realización, el aparato 300 incluye el control de la temperatura capaz de refrigerar al menos 0,1 kg del sistema a una temperatura de o por debajo de aproximadamente 250
5 grados Kelvin (-23,15 °C).

En al menos una realización, los núcleos de reactante 322 incluyen núcleos de molibdeno-98, y la tasa de captura de neutrones de núcleos de reactante dividida entre la tasa de producción de la fuente de neutrones es mayor de aproximadamente el 1 %. En al menos una realización, la tasa de
10 captura de neutrones de núcleos de reactante dividida entre la tasa de producción de la fuente de neutrones es mayor de aproximadamente el 5 %.

En al menos una realización, los núcleos de producto de reacción 324 incluyen núcleos de molibdeno-99 producidos de núcleos de molibdeno-98 de producto de reacción 324 por reacciones de captura de neutrones. Debido a la
15 desintegración de núcleos de molibdeno-99, también puede estar presentes núcleos de producto de desintegración de tecnecio-99m.

En al menos una realización, los núcleos moderadores 326 incluyen núcleos de átomos que se eligen de un grupo que consiste en deuterio, tritio, helio-4, litio-7, berilio, boro-11, carbono, nitrógeno-15, oxígeno, flúor, neón-20 y
20 neón-22.

La fuente de neutrones 316 representa esquemáticamente muchos tipos de fuentes de neutrones que no son reactores nucleares o conjuntos subcríticos. Ejemplos adecuados incluyen emisores de neutrones, generadores de neutrones y dispositivos de producción de neutrones. En al menos una
25 realización, la fuente de neutrones 316 ilustrada representa un generador de

neutrones con una emisión de neutrones que es mayor de 1×10^{14} neutrones por segundo. El generador de neutrones puede incluir un acelerador de protones, deuterones o ión helio con una energía de proyectiles superior a 8 MeV (mucho más baja para reacciones productoras de neutrones DT) y corriente del haz normalmente en el intervalo de un miliamperio o más alta, aunque pueden diseñarse sistemas con corriente del haz en el intervalo de microamperios a cientos de microamperios. Así, en diversas realizaciones, los neutrones 320 se proporcionan por la fuente de neutrones 316, y los neutrones irradian los núcleos de reactante 322 de forma que los núcleos de producto de reacción 324 se generen cuando los neutrones 320 son capturados por los núcleos de reactante 322.

El sistema 300 en al menos una realización se utiliza para producir una especie nuclear particular en un proceso escalonado que incluye captura de neutrones inducida, seguida de una o más etapas de desintegración radiactiva que producen la producción de las especies nucleares particulares. En al menos un ejemplo, los núcleos de reactante 322 se exponen a neutrones 320 para producir, mediante la captura de neutrones, núcleos de producto de reacción 324. Las desintegraciones radiactivas naturales de los núcleos de producto de reacción 324 producen entonces posteriormente núcleos de producto de desintegración 328 de una especie nuclear particular deseada. En un ejemplo particular, los núcleos de reactante 322 en la FIG. 3 representan núcleos de ^{98}Mo que capturan neutrones 320 para producir núcleos de ^{99}Mo , que se representan mediante núcleos de producto de reacción 324. Continuando ese ejemplo particular, los núcleos de producto de desintegración 328 representan una especie nuclear deseada, $^{99\text{m}}\text{Tc}$, producida por la

desintegración radiactiva de ^{99}Mo . Debe entenderse que la FIG. 3 representa muchos otros ejemplos particulares en los que una especie nuclear deseada se puebla en una cadena de desintegración en la que se producen una o más desintegraciones radiactivas siguiendo la producción de los núcleos de producto de reacción 324 por reacciones de captura de neutrones inducidas irradiando núcleos de reactante 322 con neutrones 320. Mientras que ^{99}Mo produce $^{99\text{m}}\text{Tc}$ en una única etapa de desintegración radiactiva tras la captura de neutrones por ^{98}Mo , estas descripciones también se refieren a diversas otras secuencias de desintegración en las que se producen múltiples etapas de desintegración.

Generalmente, pueden usarse diversos disolventes o fluidos en los que el isótopo reactante de ^{98}Mo 322 puede disolverse o suspenderse como moderador 326 o una parte del mismo, en tanto que los átomos dentro de cada constituyente de disolvente o fluido tengan una sección transversal de captura de neutrones térmicos microscópica baja con respecto a la del reactante de ^{98}Mo 322. Generalmente, estos disolventes o fluidos pueden estar compuestos de elementos como hidrógeno, helio, berilio, carbono, oxígeno, flúor, y algunos isótopos de otros elementos. El reactante de ^{98}Mo 322 puede suspenderse o disolverse tanto en forma regular como líquida en estos disolventes o fluidos.

Por ejemplo, la sección transversal de captura de neutrones térmicos microscópica de ^{98}Mo del reactante 322 es muy superior a la sección transversal de neutrones térmicos microscópica de núcleos de óxido de deuterio 332 en líquido. Como un ejemplo, la sección transversal de neutrones térmicos microscópica del reactante de ^{98}Mo 322 es aproximadamente 130 milibarnios frente a menos de un milibarnio para cualquiera de aquellos de los

dos átomos de hidrógeno o uno de oxígeno. Como tal, la probabilidad por núcleo de un neutrón 320 que es capturado por el núcleo reactante de ^{98}Mo 322 es muy superior a la probabilidad de que un neutrón sea capturado por óxido de deuterio. Una vez un neutrón 320 es capturado por el núcleo de reactante de ^{98}Mo 322, forma el producto de reacción de ^{99}Mo 324. El producto de reacción de ^{99}Mo 324 se desintegra entonces para crear el producto de desintegración de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 328, que puede ser directamente y continuamente extraído de la cámara 304 mediante un canal 318, que puede incluir una válvula u otras estructuras mecánicas y químicas previstas para realizar la separación radioquímica para aislar la reacción deseada o producto de desintegración.

Alternativamente, en lugar de suspender o disolver el reactante de ^{98}Mo 322 en un líquido o fluido separado, el reactante de ^{98}Mo 322 puede él mismo ser parte de un compuesto líquido. Ejemplos no limitantes incluyen: difluoromolibdeno ($^{98}\text{MoF}_2$); fluoruro de molibdeno ($^{98}\text{MoF}_3$); tetrafluoruro de molibdeno ($^{98}\text{MoF}_4$); hexafluoruro de molibdeno ($^{98}\text{MoF}_6$); compuestos de molibdeno, oxígeno y/o flúor (MoO_nF_m).

Generalmente, el aparato 300 dirige los neutrones 320 en un volumen donde los neutrones son capturados por ^{98}Mo en lugar de por otros núcleos, en una relación que es significativamente superior a en sistemas que carecen de termalización fuerte y/o altas relaciones de moderación, aún cuando el ^{98}Mo tenga una sección transversal de captura de neutrones térmicos microscópica baja en aislamiento (de aproximadamente 130 milibarnios). Como tal, el aparato 300 permite que los neutrones 320 emitidos de la fuente de neutrones sean capturados por los núcleos de reactante deseados sin que la mayoría de

los neutrones 320 se fuguen o sean capturados por núcleos distintos de ^{98}Mo , y así se desperdicien. El resultado es que la eficiencia de capturar neutrones sobre los núcleos de reactante deseados en el aparato 300 es alta (entre el 1 y el 30 %) y generalmente se describe por la siguiente relación previamente

5 descrita:

Eficiencia de neutrones = (tasa de producción de núcleos de producto de reacción)/(tasa de producción de neutrones)

donde los núcleos de producto de reacción son ^{99}Mo en situaciones donde los núcleos de reactante comprenden ^{98}Mo . Sin embargo, ciertos modelos han
10 mostrado que alterando la temperatura de los núcleos de reactante, pueden obtenerse eficiencias más altas del 30 %.

Un sistema 400 para producir núcleos de producto de reacción a partir de núcleos de reactante según al menos una realización se representa en las FIG. 4-5. El sistema incluye una pared esférica 402. Un canal de acceso 404
15 definido a través de la pared 402 permite el acceso para las partículas aceleradas a un diana esférica central 406. Una cámara de reacción en forma de envoltura esférica 410 (FIG. 5) rodea al menos parcialmente la diana 406. La cámara de alrededor puede rodear la diana concéntricamente. La diana 406 está configurada para emitir neutrones cuando es impactada por partículas
20 aceleradas que llegan a la diana a través del canal de acceso 404. La diana 406 puede construirse de materiales tales como deuterio, tritio, helio-4, litio-7, berilio, boro-11, carbono, nitrógeno-15, oxígeno, flúor, neón-20, neón-22, tántalo, tungsteno, plomo, mercurio, talio, torio, uranio, neptunio y otros transuránicos. El canal de acceso se configuró para aceptar más del 50 por
25 ciento de las partículas aceleradas que impactan en el canal de acceso.

Al igual que las paredes de la cámara de reacción 304 de la FIG. 3, la pared 402 de las FIG. 4-5 sirve de reflector de neutrones, rodeando la cámara de reacción 410 y devolviendo al menos algunos de los neutrones que llegan a la pared a la cámara de reacción 410, que contiene mayores densidades de núcleos de reactante, para aumentar la probabilidad de que cada neutrón sea capturado por núcleos de reactante. La pared incluye núcleos moderadores, de forma que la pared está compuesta por material de relación de moderación alta que tiene una sección transversal de captura de neutrones baja. Por ejemplo, la pared 402 puede incluir berilio y/o carbono. La pared en términos de espesor, en al menos una realización, es mayor de aproximadamente 20 centímetros y menor de aproximadamente 15 metros. En algunas realizaciones, se usan valores de espesor entre uno y tres metros.

En la realización ilustrada, el canal de acceso 404 se define por una pared tubular que se extiende radialmente 412 que conecta una superficie externa 414 de la pared del recipiente 402 con la diana 406. Como se muestra en la FIG. 5, la cámara de reacción en forma de envoltura esférica 410 se aísla del canal de acceso 404 por la diana esférica 406 y la pared tubular que se extiende radialmente 412. La carcasa esférica 400 también puede incluir un canal 416 para extraer directamente productos de reacción o de desintegración de la cámara de reacción 410. El canal 416 puede incluir una válvula y otras estructuras mecánicas similares.

Un acelerador de partículas 420 dirige un haz de alta energía 422 de partículas en el canal de acceso 404 del sistema 400 (FIG. 7.) La diana 406 dentro de la trayectoria del haz 422 produce neutrones a medida que el haz de partículas golpea la diana. El acelerador de partículas 420 puede proporcionar,

por ejemplo, un haz de alta energía de protones, deuterones, tritones, helio, u otras partículas. El acelerador de partículas 420 y la diana 406 constituyen juntos una fuente de neutrones que ni es un reactor ni un conjunto subcrítico.

En al menos una realización, los neutrones producidos en la diana 406 son emitidos de una forma completamente o parcialmente isotrópica. Así, el poner la diana emisora de neutrones en el centro de la cámara de reacción aproximadamente esférica facilita una distribución relativamente uniforme de neutrones en ese volumen de la cámara de reacción 410 donde núcleos de reactante previstos esperan a los núcleos emitidos. Sin embargo, en realizaciones donde se proporcionan neutrones o se emiten anisotrópicamente o direccionalmente, la diana 406 puede construirse y colocarse, por ejemplo no concéntricamente con la pared 402, en cualquier localización dentro de o con respecto a la cámara de reacción 410 para maximizar la eficiencia de neutrones con respecto a la captura por núcleos de reactante previstos en la cámara.

Dentro de la cámara de reacción 410 (FIG. 5), como ya se ha descrito con referencia a la cámara de reacción 304 de la FIG. 3, los neutrones 320 son capturados por núcleos de reactante 322 para producir núcleos de producto de reacción 324 deseados. Como tales, los núcleos de producto de reacción 324 pueden incluir núcleos de molibdeno-99 producidos de núcleos de producto de reacción de molibdeno-98 324 por reacciones de captura de neutrones. Debido a la desintegración de los núcleos de molibdeno-99, también pueden estar presentes núcleos de producto de desintegración de tecnecio-99m 328. También pueden estar presentes núcleos moderadores 326 en la cámara de reacción 410, sirviendo los núcleos moderadores también opcionalmente de

núcleos reflectores. En al menos una realización, y como ya se ha descrito con referencia a la FIG. 3, los núcleos moderadores 326 incluyen núcleos de átomos que se eligen de un grupo que consiste en deuterio, tritio, helio-4, litio-7, berilio, boro-11, carbono, nitrógeno-15, oxígeno, flúor, neón-20 y neón-22.

5 Un sistema 500 para producir núcleos de producto de reacción a partir de núcleos de reactante según al menos otra realización se representa en la FIG. 6. El sistema 500 se diferencia del sistema 400 de la FIG. 5 en que se usa una fuente de neutrones 424 en vez del acelerador 420 y la diana 406. En la FIG. 6, se define una cámara central 408 dentro de la cámara de reacción 410 para
10 recibir la fuente de neutrones 424 a través del canal de acceso 404. La fuente de neutrones 424 puede ser un dispositivo generador de neutrones capaz de emitir neutrones en un modo isotrópico, o una fuente de desintegración radiactiva que emite neutrones, tal como californio-252. El sistema 500 es por lo demás similar al sistema 400 a tal grado que las descripciones anteriores
15 con referencia a la FIG. 5 también son aplicables a la FIG. 6, particularmente donde números de referencia similares se refieren a elementos similares.

En un ejemplo operacional que se refiere a las FIG. 3, 5 y 6, el reactante 322 previsto para la captura de neutrones es ^{98}Mo , el producto de reacción 324 es ^{99}Mo y el isótopo de producto de desintegración es $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Los neutrones 320
20 se emiten en la cámara de reacción 410. Cuando un neutrón 320 se captura por un núcleo reactante de ^{98}Mo 322, se produce un núcleo de producto de reacción de ^{99}Mo 324. El núcleo de producto de reacción de ^{99}Mo 324 se desintegra por último lugar para formar un núcleo de producto de desintegración de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 328 mediante desintegración beta. En este ejemplo,
25 los núcleos de reactante 322 y los núcleos moderadores 326 pueden estar

presentes en un líquido, gas o gel como ejemplos no limitantes.

En este ejemplo operacional, el reactante de ^{98}Mo 322 puede combinarse con el moderador 326 en una solución o una suspensión. Los núcleos moderadores 326 pueden incluir deuterio, tritio, helio-4, litio-7, berilio, boro-11, carbono, nitrógeno-15, oxígeno, flúor, neón-20 y neón-22 como ejemplos no limitantes. Ejemplos de moderadores adicionales incluyen compuestos deuterados tales como óxido de deuterio (D_2O), peróxido de hidrógeno deuterado (D_2O_2) y compuestos orgánicos deuterados ($\text{D}_n\text{C}_m\text{O}_p$). Otros ejemplos de moderadores incluyen oxígeno (O_2), dióxido de carbono (CO_2), metanol deuterado, etanol deuterado y flúor.

Pueden usarse diversos disolventes o fluidos en los que el reactante de ^{98}Mo puede suspenderse en tanto que los constituyentes de disolvente o fluido tengan una sección transversal de captura de neutrones térmicos microscópica baja con respecto al reactante de ^{98}Mo . Generalmente, estos disolventes o fluidos pueden estar compuestos de elementos como hidrógeno, helio, carbono, oxígeno, flúor, y algunos isótopos de otros elementos. El reactante de ^{98}Mo puede suspenderse o disolverse en estos fluidos o disolventes.

Alternativamente, en lugar de suspender o disolver el reactante de ^{98}Mo en un líquido o fluido separado, el reactante de ^{98}Mo puede ser un constituyente de un compuesto líquido o sólido tal como, para ejemplos no limitantes, difluoromolibdeno, fluoruro de molibdeno, tetrafluoruro de molibdeno, hexafluoruro de molibdeno, óxidos de molibdeno, y compuestos de molibdeno, oxígeno y flúor (MoO_nF_m).

Los núcleos de producto de desintegración o de producto de reacción pueden ser directamente y continuamente extraídos de la cámara de reacción

mediante el elemento 318 (FIG. 3) o el canal 416 (FIGS. 5 y 6), cada uno de los cuales puede incluir una válvula u otras estructuras mecánicas y químicas previstas para realizar la separación radioquímica para aislar el producto deseado.

5 El procesamiento puede avanzar continuamente o en modo discontinuo.

Un sistema 700 para la producción de especies nucleares deseadas se representa en la FIG. 7 según al menos una realización. El sistema 700 incluye un conjunto al menos parcialmente esférico dentro de una pared externa 702. El sistema 700 está soportado por una base 704, representada como un pedestal trapezoidal para fines a modo de ejemplo. La base 704 soporta el peso del sistema 700 sin interferir con la operación práctica. Dentro de la pared externa 702, múltiples capas de envoltura esféricas rodean una diana central 706 en una disposición concéntrica. La diana central 706 emite neutrones cuando un haz 750 de partículas incide sobre la diana. Los neutrones son emitidos en las capas de envoltura esféricas que rodean la diana central 706, pasando al menos algunos de los neutrones de la capa más interna 710 a capas más externas. Al menos una de las capas de envoltura esféricas sirve de volumen de reacción de captura de neutrones, que tiene núcleos previstos para reacciones de captura de neutrones presentes. Otras capas sirven de capas moderadoras y/o reflectoras para aumentar la probabilidad de que los neutrones emitidos de la diana central 706 sean capturados por núcleos previstos.

Aunque se ilustran cinco capas de envoltura esféricas en la FIG. 7, estas descripciones se refieren a estructuras en capas que tienen menos de y más de cinco capas de envoltura esféricas. Para fines del ejemplo, las capas de la

cámara de reacción de envoltura esférica ilustradas en la FIG. 7 se describen en el presente documento, en tamaño radial creciente desde la diana esférica central 706 hasta la pared externa 702, como: una primera capa 710; una segunda capa 712; una tercer capa 714; una cuarta capa 716; y una quinta
5 capa 718, en la que su orden numerado se corresponde con sus posiciones radialmente ordenadas en la estructura en capas. En al menos una realización, la diana esférica central está sustituida por una cámara que define una capa más interna.

Al igual que las paredes de la cámara de reacción 304 de la FIG. 3, la
10 pared 702 de las FIG. 7 puede servir de reflector de neutrones, rodeando las cámaras de reacción y reflejando al menos algunos de los neutrones que llegan a la pared para aumentar la probabilidad de que cada neutrón sea capturado por un núcleo de reactante previsto. La pared incluye núcleos moderadores, de forma que la pared está compuesta por material de relación de moderación alta
15 que tiene una sección transversal de captura de neutrones baja. Por ejemplo, la pared 702 puede incluir berilio, oxígeno y/o carbono.

Pueden estar presentes núcleos moderadores en las capas de envoltura esféricas interiores a las paredes de la cámara de reacción, y estos núcleos moderadores pueden también servir de reflectores de neutrones. La pared en
20 términos de espesor, en al menos una realización, es mayor de aproximadamente 20 centímetros y menor de aproximadamente 15 metros. Espesores próximos a 1-2 metros se usan en algunas realizaciones.

En la FIG. 7, se ilustran cuatro límites radialmente intermedios esféricos en sección transversal como: un primer límite 720 entre la primera capa 710 y
25 la segunda capa 712; un segundo límite 722 entre la segunda capa 712 y la

tercera capa 714; un tercer límite 724 entre la tercera capa 714 y la cuarta capa 716; y un cuarto límite 726 entre la cuarta capa 716 y la quinta capa 718.

Los límites esféricos representan, en diversas realizaciones, cualquiera de: materiales estructurales que soportan y separan las capas adyacentes; o la
5 interfase donde las capas cumplen sin materiales estructurales adicionales mantener su separación. Es decir, la diana esférica central 706 y las capas ordenadas 710, 712, 714, 716 y 718 son distintas en diversas realizaciones por sus posiciones, contenidos y otras propiedades físicas tales como temperaturas con o sin material intermedio entre ellas en los límites radialmente intermedios.
10 Pueden usarse miembros estructurales adicionales para conectar y/o soportar cada capa y límite. Haces radialmente dispuestos 730 a modo de ejemplo, que se extienden como radios, se ilustran en la FIG. 7 como interconectando los límites 720, 722, 724 y 726.

Los materiales estructurales por los que pueden construirse los límites
15 esféricos, en al menos una realización del sistema 700 de la FIG. 7, incluyen materiales de sección transversal de captura de neutrones térmicos microscópica baja. Por ejemplo, puede usarse carburo de silicio, carburo de berilio, carbono y circonio. El espesor óptimo para las capas de material estructural y sus composiciones varían entre realizaciones. Las capas
20 estructurales en diversas realizaciones son lo suficientemente gruesas como para conferir estabilidad, pero no tan gruesas como para capturar excesivamente neutrones y reducir la eficiencia de neutrones. En algunas realizaciones, pueden usarse materiales estructurales con secciones transversales de captura de neutrones térmicos microscópicas promedio
25 inferiores a 300 milibarnios, tales como circonio. En otras realizaciones, pueden

usarse materiales estructurales con secciones transversales de captura de neutrones térmicos microscópicas promedio inferiores a 30 milibarnios, tales como polímeros o plásticos que contienen carbono, deuterio y oxígeno. En algunas realizaciones, materiales que proporcionan soporte estructural pueden
5 hacer también de núcleos moderadores.

Tras la emisión de neutrones de la diana 706, se producen procesos de captura de neutrones entre la diana y una pared externa 702 del sistema 700 dentro de una o más de las capas circundantes 710, 712, 714, 716 y 718 para facilitar la producción de una especie nuclear deseada. La pared externa 702
10 se ilustra como un límite esférico por comodidad, pero puede tomar otra forma en algunas realizaciones.

Un canal de acceso 732 se representa como una perforación cónica que disminuye en tamaño desde la pared externa 702 hacia la diana esférica central 706. El canal de acceso 732 permite que un haz 750 de partículas
15 llegue a la diana 706. Una pared que se extiende radialmente 734 que define el canal de acceso 732 se ilustra en la FIG. 7 como cónicamente formada para coincidir con la perforación cónica a través de la estructura en capas. En diversos otros ejemplos, la pared 734 y la perforación tienen otras formas, por ejemplo formas cilíndricas de correspondencia sin conicidad, para definir el
20 canal de acceso 732. La pared que se extiende radialmente 734 en al menos una realización conecta la pared externa 702 con la diana central 706, aislando las capas 710, 712, 714, 716 y 718 entre sí, y del exterior de la pared externa 702, mientras que se permite el acceso a la diana central 706.

El canal de acceso 732 se ilustra como el ángulo sólido subtenido s 736,
25 que se muestra como un ángulo agudo para un fin ilustrativo a modo de

ejemplo. En otras realizaciones, el ángulo 736 es obtuso. En al menos una realización, el ángulo sólido 736 es aproximadamente 2π estereorradianes de forma que las capas 710-718 son semiesféricas. Así, en diversas realizaciones, el ángulo sólido 730 puede ser de cualquier valor y el canal de acceso 732
5 puede ser de cualquier tamaño y forma.

El canal de acceso 732 puede servir a dos o más fines. Permite que un haz de partículas llegue al centro del sistema 700, donde partículas entrantes tales como protones, deuterones, núcleos de helio, y otros proyectiles, pueden producir neutrones, por ejemplo induciendo reacciones nucleares en una diana
10 central. Por ejemplo, si se usa berilio como la diana central 706, las partículas entrantes de alta energía como los protones pueden producir neutrones por una reacción ${}^9\text{Be}(p,n)$. El canal de acceso 732 también permite la entrada y salida de fluido de refrigeración para controlar la temperatura en las capas del sistema 700. Por ejemplo, podrían usarse helio líquido, oxígeno y/u otros
15 refrigerantes para mantener las temperaturas de la diana esférica central 706 y las capas 710-718, cada una a una temperatura respectiva particular. En algunas realizaciones del sistema 700, las temperaturas se mantienen para controlar preferencialmente la relación de moderación y/o para aumentar la sección transversal de captura de neutrones microscópica de un isótopo de
20 reactante deseado. En algunas realizaciones, las temperaturas se reducen en algunas capas a menos de 100 grados K (-173,15 °C), e incluso a tan solo el punto de ebullición del helio, e incluso más bajas todavía.

Uno o ambos de estos fines descritos podrían proporcionarse por el canal de acceso 732 en diversas realizaciones. Por ejemplo, un mecanismo de
25 generación de neutrones podría estar completamente contenido dentro del

recipiente, y puede o puede no necesitarse refrigeración o calentamiento.

Además, puede estar presente más de una perforación. Las formas, tamaños, localizaciones y números de perforaciones pueden variar sin cambiar los principios anteriores. Algunas realizaciones podrían no usar ninguna
5 perforación.

En al menos una realización, la diana emisora de neutrones comprende al menos 10 gramos de núcleos que poseen una sección transversal de captura de neutrones térmicos microscópica superior a la de los núcleos de reactante, en un volumen donde la energía de los neutrones es muy superior a la energía
10 térmica. En al menos una realización, la diana emisora de neutrones comprende al menos 10 gramos de núcleos que poseen una sección transversal de captura de neutrones térmicos microscópica superior a la de los núcleos de reactante, y donde la diana emisora de neutrones está configurada (por ejemplo geométricamente, térmicamente) para absorber tan pocos
15 neutrones como sea posible, por ejemplo menos del 1, 5 o 10 % de todos los neutrones producidos en la diana.

En al menos una realización, un haz externamente administrado 750 de partículas entra en el canal de acceso para crear neutrones mediante las reacciones nucleares en la diana 706. En otro ejemplo, una fuente de
20 desintegración RI de neutrones se coloca en la localización diana, por ejemplo AmBe, ^{252}Cf , PuBe, y pueden usarse otras fuentes.

Debido a que el sistema se diseña para moderar neutrones de incluso alta energía (por ejemplo, incluso superior a 8-14 MeV), el sistema puede manipular una amplia variedad de entrada de energía de neutrones sin pérdida de
25 función. Por ejemplo, pueden usarse neutrones DT y las fuentes de espalación.

También son aceptables diversas intensidades de neutrones o tasas de entrada. Un principio de diseño subyacente implementado por una o más realizaciones descritas en el presente documento se refiere a aumentar la probabilidad de que un neutrón cualquiera sea capturado por un reactante
5 previsto dado. Como resultado, la intensidad de los neutrones administrada en el recipiente no debe variar enormemente la eficiencia de neutrones promedio.

Ya existen aceleradores comerciales, por ejemplo, aquellos que pueden alcanzar las energías y haces de corriente necesarios para producir estas intensidades de neutrones. Por ejemplo, partículas que incluyen protones,
10 deuterio, tritio, helio, y otros ejemplos, cuando inciden con una diana productora de neutrones, pueden producir entre 0,1 y 5 neutrones por partícula incidente a energías de décimos a algunos cientos de MeV. Diferentes dianas dan diferentes rendimientos de neutrones en un proceso llamado espalación nuclear.

15 En al menos un ejemplo, un haz de partículas de alta energía (décimos a cientos de MeV) son incidentes sobre la diana rica en neutrones, generando neutrones suficientes para la operación práctica. Suponiendo que se genera aproximadamente un neutrón por partícula nuclear incidente, es necesario un haz de aproximadamente 10^{16} partículas por segundo, o algunos miliamperios
20 de corriente de haz. Los haces que pueden proporcionar algunos décimos o cientos de MeV a corrientes de haz de miliamperios o más altas están disponibles en las implementaciones de investigación en la industria, por ejemplo en la terapia con protones. Pueden garantizarse energías de haces y corrientes de haces más altas o más bajas para reducir el coste o para cambiar
25 la tasa de producción con el tiempo para alterar la tasa de calentamiento de la

diana productora de neutrones, por ejemplo debido a calentamiento a medida que se deceleran las partículas de alta energía, en las que algunas colisiones generan calor en lugar de (o además de) neutrones.

En la FIG. 8, un acelerador de partículas 800 dirige un haz de alta energía 802 de partículas en el canal de acceso 732 del sistema 700 (FIG. 7.) En la FIG. 8, solo la diana esférica central 706 se ilustra explícitamente para representar la estructura de envoltura en capas ilustrada más explícitamente en la FIG. 7. Como sucede con la FIG. 7, la FIG. 8 representa estructuras en capas que tienen cualquier número de capas de envoltura aproximadamente esféricas. La FIG. 8 ilustra una configuración en la que un núclido de reactante previsto puede estar presente en cualquiera o todas las capas, y adicionalmente puede servir de material estructural. Los núcleos diana 804 dentro de la trayectoria del haz 802 producen neutrones 806 a medida que golpean las partículas del haz. En esta representación en diagrama, un acelerador de partículas 800, que emite, por ejemplo, protones, deuterones, tritones, helio, u otras partículas, hace que un haz de alta energía de partículas incidentes o núcleos que entran en el sistema 700 a través del canal de acceso 732 golpee la diana 804, haciendo que se emitan neutrones 806. Las FIG. 7-8 representan muchas configuraciones de materiales y geometrías que se caracterizan por un volumen de relación de moderación alto dentro del sistema 700. Las disposiciones representadas pueden variarse dentro del alcance de estas descripciones sin comprometer la alta eficiencia de neutrones.

Muchas formas de producción de neutrones según realizaciones dentro del alcance de estas descripciones producen neutrones que van a emitirse de un modo principalmente o parcialmente isotrópico. El poner la diana emisora de

neutrones próxima al centro del volumen puede ayudar a distribuir neutrones isotrópicamente emitidos uniformemente en zonas ricas con núcleos previstos para la captura de neutrones para ayudar a maximizar la eficiencia de neutrones. Alternativamente, en situaciones con anisotropía en la emisión de neutrones, pueden variarse la localización y la forma del emisor de neutrones o seleccionarse óptimamente para mejorar la eficiencia de neutrones.

Se proporciona calentamiento y/o refrigeración en diversas realizaciones para mantener una diana productora de neutrones a una temperatura estable seleccionada. Puede usarse refrigeración para facilitar el potenciamiento de la tasa de captura de neutrones de núcleos de reactante reduciendo la energía de los neutrones y así mejorando la sección transversal de captura de neutrones microscópica de los núcleos de reactante previstos, tales como núcleos de ^{98}Mo . La refrigeración puede incluir refrigeración criogénica. También puede usarse calentamiento para reducir la captura de neutrones de núcleos no de reactante aumentando la energía de los neutrones. El refrigerante y cualquier tubería, canalización y tubería de revestimiento que lleve el refrigerante dentro de los alojamientos descritos en el presente documento también tienen preferentemente secciones transversales de captura de neutrones microscópicas pequeñas, pero son capaces de manipular temperatura más fría que la ambiente o temperaturas criogénicas sin comprometer la integridad funcional. Los materiales de las tuberías pueden incluir, por ejemplo: cualquier polímero construido con carbono, deuterio, oxígeno, berilio, flúor, y otros materiales de sección transversal de captura de neutrones microscópica baja; o metales como, por ejemplo, circonio. Debe aplicarse refrigerante suficiente para eliminar el calor residual creado durante la creación de neutrones, y también

para enfriar cualquier capa del volumen hasta temperaturas por debajo de la temperatura ambiente, por ejemplo, hasta 100 grados K (-173,15 °C), 30 grados K (-243,15 °C), 10 grados K (-263,15 °C), o por debajo del punto de ebullición del helio. En algunas realizaciones, también podría emplearse el uso
5 deliberado de calentamiento para elevar las temperaturas por encima de la temperatura ambiente con el fin de aumentar la energía de los neutrones y así reducir las secciones transversales de captura de neutrones microscópicas.

El material estructural usado en las construcciones debe ser capaz de operar a temperatura más baja de la ambiente y temperaturas criogénicas, y
10 también a resistir ciclos de temperatura entre temperatura ambiente y temperatura más baja de la ambiente o temperatura criogénica, si se usan temperaturas más bajas. El refrigerante, si se usa, puede entrar y abandonar volúmenes interiores en más de un sitio. Por ejemplo, además de entrar y/o salir en la perforación, el refrigerante podría entrar en o abandonar diversos
15 conductos. Pueden usarse variantes de la sección transversal de captura de neutrones térmicos microscópica especialmente bajas de materiales estructurales comercialmente disponibles, tuberías, componentes electrónicos, intercambiadores de calor, etc., o fabricarse específicamente para su uso en este aparato.

20 En la FIG. 9, se representa un sistema de control térmico 900 a modo de ejemplo para su uso con un recipiente de envoltura en capas 902 que representa estructuras en capas que tienen cualquier número de capas de envoltura esféricas 904 concéntricamente dispuestas alrededor de una diana esférica central o cavidad 906. Un haz de alta energía 910 entra en el
25 recipiente 902 a través de una perforación 912 y un núcleo de diana 914 dentro

de la trayectoria del haz 910 produce neutrones a medida que las partículas del haz golpean la diana. La FIG. 9 ilustra una configuración en la que un núclido de reactante previsto puede estar presente en cualquiera o todas las capas, y así representa esquemáticamente implementaciones térmicamente mantenidas
5 de al menos los sistemas ilustrados en las FIG. 5 y 7-8.

El sistema de control térmico 900 incluye cualquier número de conductos primarios 920 y sub-conductos 922 y 924 que definen trayectorias de fluido de envío y retorno que constituyen una red de distribución de fluido ramificada implementada en la estructura en capas del recipiente de envoltura en capas
10 902 de forma que las capas de envoltura 904 puedan ser mantenidas térmicamente independientemente o juntas. En al menos una realización, se usa un productor de fluido criogénico 926 convencional para recircular fluido refrigerante de sección transversal de captura de neutrones microscópica baja que está suficientemente libre de contaminantes de sección transversal de
15 captura de neutrones microscópica más alta. En otra realización, el fluido de refrigeración se usa para mantener los núcleos de reactante entre 200 y 250 K (-73,15 a -23,15 °C). La refrigeración, tanto criogénica como de otro modo, debe hacerse de tal forma que no interfiera con el haz 910 que entra en la perforación.

20 Particularmente dentro del recipiente 902, las líneas de conductos, tubos, recintos y el refrigerante distribuido deben tener secciones transversales de captura de neutrones microscópicas bajas para minimizar los neutrones que son capturados por el material dentro del recipiente distintos del reactante previsto. Diversos sistemas de refrigeración y disposiciones que cumplen estas
25 condiciones están dentro del alcance de estas descripciones, ya que son

diversos métodos de temperatura más baja de la ambiente o suministro, almacenamiento y producción de fluido criogénico.

En algunas realizaciones, la eliminación de un radioisótopo producido puede avanzar permitiendo que las diversas capas se enfríen o calienten hasta
5 temperatura ambiente naturalmente, o puede producirse eliminando material congelado, si el material está presente en forma congelada (por ejemplo ^{98}Mo o ^{99}Mo en D_2O sólido, oxígeno, nitrógeno-15, etc.). La eliminación también puede implicar permitir que se evapore líquido, dejando solo Mo, por ejemplo de Mo en oxígeno líquido o helio.

10 En algunas realizaciones, para extraer y transportar radioisótopos tales como ^{99}Mo , pueden seguirse los métodos radioquímicos existentes y procedimientos de suministro en cadena existentes o modificados. En situaciones donde el ^{99}Mo no pueda ser fácilmente extraído del precursor de ^{98}Mo o donde tal extracción no esté garantizada o sea necesaria, la masa de
15 Mo puede transportarse junta, usarse en generadores de tecnecio-99m comercialmente disponibles hoy en día, y devolverse para extraer el molibdeno para la reutilización. En algunas realizaciones, pueden usarse generadores de tecnecio-99m alterados o mejorados que pueden usar satisfactoriamente niveles de radiactividad específica más baja que aquellos usados por los
20 actuales generadores de tecnecio del estado de la técnica comerciales. Debido a que el uso de molibdeno enriquecido es útil para la operación de neutrones de alta eficiencia, podría ser deseable usar un método de transporte y devolución del recipiente que minimizara la pérdida de ^{98}Mo enriquecido (caro). Aparatos según estas descripciones se construyen de tal forma que la
25 eliminación o adición de material de núcleos de reactante, tal como ^{98}Mo , sea

rápida y fácil. Por ejemplo, puede construirse de tal forma que la capa o capas que contienen material de núcleos de reactante sean fácilmente eliminadas, bombeadas o se vuelvan a añadir.

El volumen o volúmenes con los núcleos de reactante previstos para la absorción/captura de neutrones se construye preferentemente especialmente para la eliminación conveniente del material activado después de la irradiación. Además, puede usarse material enriquecido (por ejemplo ^{98}Mo al 80 por ciento o más de enriquecimiento).

Varias configuraciones a modo de ejemplo se especifican en más detalle más adelante en las Tablas 1-4, que especifican densidades, materiales, temperaturas, las dimensiones se especifican para la diana central 706 y las capas 710 (primera capa), 712 (segunda capa), 714 (tercera capa), 716 (cuarta capa) y 718 (quinta capa) para el sistema 700 de la FIG. 7. Debe entenderse que estas configuraciones se proporcionan como ejemplos sin limitar estas descripciones a aquellos ejemplos. No todas las configuraciones concebibles tendrán una diana central esférica y cinco capas concéntricas. Estos son solo ejemplos.

Estas configuraciones a modo de ejemplo se derivan de modelado informático usando códigos de transporte de neutrones. El modelado se realizó usando MCNP5, que es conocido y es frecuentemente usado por aquellos expertos en la materia. Por simplicidad, el modelado no incluyó materiales estructurales tales como aquellos mostrados en posiciones radiales correspondientes a los límites 720 722, 724, 726 en la FIG. 7. En un caso de modelado informático del sistema, resumido más adelante, se supuso que los neutrones de entrada iban a ser emitidos isotrópicamente desde la diana 706 a

8 MeV. En otros casos, el modelado informático del sistema supuso que se usó un espectro sustancialmente mayor de energías de neutrones de entrada, con resultados similares. Obsérvese que los diversos materiales en las siguientes configuraciones pueden estar en forma gas, líquida o sólida dependiendo de la temperatura. En cada una, se supone que el molibdeno está uniformemente distribuido en su capa indicada por simplicidad, aunque no necesita ser para la operación.

Tabla 1 – Configuración 1

Cámara	Densidad (g/cm ³)	Material	Temperatura (grados K) (°C)	Intervalo radial (cm)
Diana central	1,85	Berilio	300 (26,85)	0 - 20 cm
Capa 1	0	Vacío	N/A	20 - 30 cm
Capa 2	1,1	D ₂ O	300 (26,85)	30 - 35 cm
Capa 3	1,86	51 partes de O, 1 parte de ⁹⁸ Mo	300 (26,85)	35 - 38 cm
Capa 4	1,1	D ₂ O	300 (26,85)	38 - 58 cm
Capa 5	1,1	D ₂ O	300 (26,85)	58 - 199 cm

Tabla 2 – Configuración 2

Cámara	Densidad (g/cm ³)	Material	Temperatura (grados K) (°C)	Intervalo radial (cm)
Diana central	1,85	Berilio	300 (26,85)	0 - 20 cm
Capa 1	0	Vacío	N/A	20 - 30 cm
Capa 2	1,1	D ₂ O	30 (-243,15)	30 - 35 cm
Capa 3	1,86	51 partes de O, 1 parte de ⁹⁸ Mo	30 (-243,15)	35 - 38 cm
Capa 4	1,1	D ₂ O	30 (-243,15)	38 - 58 cm
Capa 5	1,1	D ₂ O	300 (26,85)	58 - 199 cm

Tabla 3 – Configuración 3

Cámara	Densidad (g/cm ³)	Material	Temperatura (grados K) (°C)	Intervalo radial (cm)
Diana central	1,85	Berilio	300 (26,85)	0 - 20 cm
Capa 1	0	Vacío	N/A	20 - 30 cm
Capa 2	1,1	D ₂ O	3 (-270,15)	30 - 35 cm
Capa 3	1,86	51 partes de O, 1 parte de ⁹⁸ Mo	3 (-270,15)	35 - 38 cm
Capa 4	1,1	D ₂ O	3 (-270,15)	38 - 58 cm
Capa 5	1,1	D ₂ O	300 (26,85)	58 - 199 cm

5 Se predice que la eficiencia de neutrones va a de aproximadamente el

2 % al 15 % a medida que se pasa de la configuración 1 a la configuración 3, representando los rendimientos de producción lo que serían tasas de producción de ^{99}Mo comercialmente competitivas en la implementación de la máquina.

5 **Tabla 4 – Configuración 4**

Cámara	Densidad (g/cm ³)	Material	Temperatura (grados K) (°C)	Intervalo radial (cm)
Diana central	1,85	Berilio	300 (26,85)	0 - 10 cm
Capa 1	0,12	Vacío	N/A	10 - 15 cm
Capa 2	2,85	22 partes de D ₂ O, 1 parte de ^{98}Mo	3 (-270,15)	15 - 20 cm
Capa 3	1,1	D ₂ O	3 (-270,15)	20 - 40 cm
Capa 4-5	1,1	D ₂ O	3 (-270,15)	40 - 199 cm

La configuración 4 tiene una eficiencia de neutrones estimada de aproximadamente el 20 %.

Podrían añadirse capas adicionales, o quitarse capas, o modificarse estos principios, o añadirse o cambiarse o alterarse geometrías o materiales sin
10 cambiar la premisa de estas descripciones.

Se han descrito realizaciones particulares y características con referencia a los dibujos. Debe entenderse que estas descripciones no se limitan a ninguna realización única o cualquier conjunto particular de características, y que pueden surgir realizaciones y características similares o pueden hacerse
15 modificaciones y adiciones sin apartarse del alcance de estas descripciones y el espíritu de las reivindicaciones adjuntas.