

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 694 016**

51 Int. Cl.:

**G21B 3/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.04.2015** **E 15162307 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.07.2018** **EP 3086323**

54 Título: **Un procedimiento de uso en la generación de energía y un aparato asociado**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**17.12.2018**

73 Titular/es:

**SPALLACATCH AB (100.0%)**  
**Carlsgatan 3**  
**211 20 Malmö, SE**

72 Inventor/es:

**LIDGREN, HANS y**  
**LUNDIN, RICKARD**

74 Agente/Representante:

**LINAGE GONZÁLEZ, Rafael**

**ES 2 694 016 T3**

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

## DESCRIPCIÓN

Un procedimiento de uso en la generación de energía y un aparato asociado

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un procedimiento de uso en la generación de energía. Más específicamente, la presente invención se refiere a un procedimiento para su uso en la generación de energía que utiliza la captura de neutrones por una materia objetivo mediante la cual se produce energía de salida de radiación electromagnética. La presente invención también está relacionada con un aparato asociado.

10 **Antecedentes de la técnica**

La espalación nuclear y la captura de neutrones son conceptos fácticos en la física nuclear. La espalación nuclear implica la fragmentación de nucleones por haces de partículas energéticas en aceleradores de partículas que se usan para producir haces de neutrones energéticos. Por otro lado, la captura de neutrones es un proceso de fusión mediante el cual los nucleones capturan neutrones, aumentando de ese modo sus masas.

En el primer caso, la espalación requiere una entrada de energía bastante alta. En este último caso, la captura de neutrones por isótopos en la parte inferior de la tabla de nucleidos da una salida de energía. Debido a que la espalación por haces de partículas energéticas requiere una entrada de energía mucho más alta en comparación con la energía potencial recibida por la captura de neutrones, típicamente no se ha considerado como un medio útil para la producción de energía.

En vista de lo anterior, es necesario un avance técnico para lograr la producción de energía que supere los problemas mencionados anteriormente.

De acuerdo con Imasaki et al. en "Transmutación de Rayos Gamma", 6 de junio de 2006, páginas 1-3, XP002754113; URL: <http://www.ile.osaka-u.ac.jp/jp/information/publication/annualreport/2006/6/6.29.pdf>, tenemos que convertir nuevos recursos energéticos de materiales libres de dióxido de carbono en un futuro próximo. Entre ellos, se considera la energía de fisión, pero la cuestión de un residuo nuclear será grave en este caso. Uno reposará geológicamente pero las transmutaciones de productos de fisión de larga vida serán un problema para el reposo. Para la mayoría de los residuos, se espera que reposen el tiempo suficiente de su vida activa, excepto <sup>129</sup>yodo. El yodo tiene una vida muy larga de más de 10 millones de años y tiene una alta actividad química.

35 **Sumario de la invención**

Por lo tanto, un objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento mejorado para su uso en la generación de energía que sea más controlable.

Adicionalmente, también es un objetivo de la presente invención proporcionar un aparato asociado.

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un procedimiento para su uso en la generación de energía. El procedimiento comprende llevar una primera materia objetivo a través de la resonancia de onda a un estado de energía superior exponiendo la primera materia objetivo a la energía de entrada de radiación electromagnética para producir un primer cambio isotópico en la primera materia objetivo y neutrones que resulten del primer cambio isotópico. El procedimiento también comprende capturar los neutrones mediante una segunda materia objetivo para producir un segundo cambio isotópico en la segunda materia objetivo y la energía de salida de radiación electromagnética.

La primera materia objetivo y la segunda materia objetivo aquí y en lo siguiente se denominarán colectivamente combustible o combustible de reactor.

Por exposición de radiación electromagnética, radiación EM, de la energía de entrada se entiende aquí que la radiación EM irradia al menos una parte de la primera materia objetivo. La radiación puede comprender fotones que tengan al menos una frecuencia, o modo de frecuencia. En un primer ejemplo, la radiación comprende fotones que tienen una pluralidad de modos de frecuencia. En un segundo ejemplo, la radiación es sustancialmente monocromática y comprende fotones con una frecuencia fija. Además, la radiación puede tener un nivel preferido de intensidad y/o potencia. El nivel preferido de intensidad y/o potencia puede asociarse con frecuencias específicas.

La energía de entrada de radiación EM puede transferir la energía de entrada y el impulso de entrada a la primera materia objetivo. La transferencia de energía se puede proporcionar por medio de un proceso de aceleración de partículas de onda. Opcionalmente, la radiación EM puede estar polarizada.

Al menos una parte de la primera materia objetivo puede asumir un estado de alta energía. Cuando la primera materia objetivo se lleve al estado de mayor energía a través de la resonancia de onda, los neutrones pueden liberarse o emitirse. En otras palabras, la energía de onda de resonancia puede energizar la primera materia objetivo para producir energía de fisión y producir neutrones. Este proceso puede denominarse espalación. La liberación puede producirse cuando la energía de entrada sea mayor o igual que una energía umbral. Adicionalmente, sin embargo, un efecto de túnel mecánico cuántico puede permitir una liberación por debajo de la energía umbral.

La primera materia objetivo asume un estado de mayor energía por el cual la energía de onda se transfiere a al menos una porción de la primera materia objetivo. El proceso de aceleración de onda-partícula, o de manera equivalente, el proceso de resonancia de onda, puede elegirse basándose en las propiedades físicas especificadas de la geometría del reactor y del combustible que contiene en el mismo. Las propiedades físicas pueden estar asociadas a las propiedades físicas de la primera materia objetivo. A modo de ejemplo, estas propiedades físicas pueden relacionarse con un tipo de material comprendido en la primera materia objetivo, el tipo de estructura reticular del material, las cantidades físicas del material, tal como su masa atómica, número de átomos, distancia de separación atómica, velocidad del sonido, velocidad característica del plasma, temperatura local, temperatura promedio, etc., dimensiones de longitud de la estructura reticular del material, dimensiones de longitud de una estructura de grano del material y geometría de la estructura reticular del material. Las propiedades físicas también pueden ser una frecuencia de resonancia local de la primera materia objetivo. La energía de onda resonante, es decir, la energía recibida por el proceso de aceleración de onda resonante (bombeo), puede transferirse a la primera materia objetivo a una intensidad preferida. La energía de onda resonante  $W$  tiene una frecuencia asociada  $\omega$  y una longitud de onda resonante asociada  $\lambda$ . Los iones en la primera materia objetivo pueden acelerarse por la energía de entrada de radiación EM.

De acuerdo con el procedimiento inventivo, los neutrones se producen, o se liberan. En un ejemplo no limitativo, los neutrones pueden ser neutrones fríos. Por neutrones fríos, en esta solicitud se entiende que la energía cinética de los neutrones se especifica en el rango de 0 eV a 0,025 eV, donde eV indica electronvoltio. En particular, los neutrones fríos pueden ser neutrones térmicos. En otro ejemplo no limitativo, los neutrones pueden tener energías cinéticas entre 0,025 eV y 1 eV. En otro ejemplo no limitativo, los neutrones pueden ser neutrones lentos que tengan energías cinéticas entre 1 eV y 10 eV. Las energías cinéticas entre 10 eV y 50 eV también son concebibles.

Dado un suministro constante de potencia de entrada de radiación EM, el número de neutrones producidos por la primera materia objetivo puede aumentar con el tiempo. En un ejemplo no limitativo, el número de neutrones producidos después de un tiempo de inicio de la espalación puede estar entre  $10^{10}$  y  $10^{20}$  neutrones por segundo por  $\text{cm}^2$ .

La primera materia objetivo puede estar en un estado ionizado o en un estado de plasma cuando se liberen los neutrones. La segunda materia objetivo puede estar en un estado sólido o líquido al capturar los neutrones.

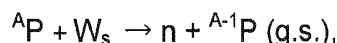
La primera materia objetivo puede comprender al menos uno de deuterio, D y  $^7\text{Li}$ . Una de las ventajas de usar D es que es barato. Otra ventaja es que el uso de D conduce a una ganancia neta alta.

Además, la segunda materia objetivo puede comprender al menos uno de entre  $^{40}\text{Ca}$ ,  $^{46}\text{Ti}$ ,  $^{52}\text{Cr}$ ,  $^{64}\text{Zn}$ ,  $^{58}\text{Ni}$ ,  $^{70}\text{Ge}$  y  $^{74}\text{Se}$ . Cualquiera de estos materiales puede generar un exceso de energía por captura de neutrones. Más particularmente, el proceso de captura de neutrones puede liberar más energía que la energía requerida para la espalación de neutrones.

La segunda materia objetivo también puede comprender isótopos más pesados de los elementos presentados anteriormente. Los elementos pueden ser de corta duración o estables. Cabe destacar que estos isótopos pueden producirse mediante la captura de neutrones de cualquiera de estos elementos. Por ejemplo, la segunda materia objetivo puede comprender  $^{60}\text{Ni}$  o  $^{62}\text{Ni}$  que puede resultar de la captura de neutrones por  $^{58}\text{Ni}$ .

Por medio del concepto inventivo, normalmente no hay transmutaciones de elementos. En cambio, hay cambios isotópicos de la primera y la segunda materia objetivo. Por isótopos se entiende un conjunto de nucleidos que tienen el mismo número atómico  $Z$  pero que tienen diferentes números de neutrones  $N = A - Z$ , donde  $A$  es el número de masa. En el proceso de cambio isotópico, el número de masa  $A$  del isótopo se cambia al menos en un paso entero. El primer cambio isotópico puede ser un cambio isotópico de un isótopo  $^A\text{P}$  con número de masa  $A$  a un isótopo  $^{A-1}\text{P}$  con número de masa  $A-1$ .

El cambio isotópico en un isótopo  $^A\text{P}$  puede originarse en un canal de reacción

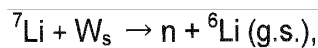


donde  $W_s$  indica una energía de espalación, donde "n" indica un neutrón, y donde "gs" indica un estado fundamental de  ${}^{A-1}\text{P}$ . Esta reacción está asociada con una energía umbral específica, expresada de manera convencional en eV. Este tipo de reacción también se asocia con energías umbrales específicas.

5 Puede haber canales de reacción similares a partir de  ${}^A\text{P}$  que pueden dar como resultado isótopos  ${}^k\text{P}$ , donde  $k = 1, 2, 3, \dots$ . Por ejemplo, los procesos anteriores en los que el número atómico se cambia en un paso puede repetirse  $k$  veces, o la transición en  $k$  pasos puede ser directa.

10 La energía de espalación  $W_s$  es una energía suministrada a una parte de la primera materia objetivo mediante la exposición a la radiación para permitir la liberación de al menos un neutrón. Un estado de energía de la primera materia objetivo antes de la irradiación puede provocarse en un estado de energía superior. El estado de mayor energía puede alcanzarse mediante la absorción de energía por la primera materia objetivo. Por ejemplo, la energía absorbida se puede convertir en energía cinética y/o energía vibracional de la primera materia objetivo.

15 En un primer ejemplo no limitativo, un cambio isotópico en litio puede originarse en el canal de reacción



20  $W_s$  es la energía de espalación y donde "gs" indica un estado fundamental de  ${}^6\text{Li}$ . El umbral de energía para esta reacción es de 7,25 MeV. Cabe destacar que  ${}^6\text{Li}$  así como  ${}^7\text{Li}$  son isótopos estables per se, pero que la reacción anterior puede inducirse por irradiación por encima del umbral de energía.

25 En un segundo ejemplo no limitativo, el cambio isotópico puede originarse en el canal de reacción  $\text{D} + W_s \rightarrow \text{n} + {}^1\text{H}$ , donde D es deuterio  ${}^2\text{H}$  y donde H es protio, es decir, hidrógeno. El umbral de energía para esta reacción es de 2,25 MeV.

30 Los cambios de elementos también pueden producirse a través de la desintegración beta. Por ejemplo, la captura de neutrones de níquel hasta los isótopos inestables  ${}^{63}\text{Ni}$  y  ${}^{65}\text{Ni}$  conduce a través de la desintegración beta ( $\beta^-$ ) a  ${}^{63}\text{Cu}$  y  ${}^{65}\text{Cu}$ , respectivamente, es decir, los neutrones se convierten en protones. A la inversa, la captura de neutrones de  ${}^{59}\text{Ni}$  puede, a través de la desintegración  $\beta^+$ , dar lugar a  ${}^{58}\text{Co}$ , es decir, un protón convertido en neutrón. Incidentalmente, los isótopos inestables anteriores tienen secciones transversales de alta captura de neutrones. Por lo tanto, el proceso de conversión de energía puede implicar un serpenteado complejo de los cambios isotópicos de captura de neutrones y los cambios de los elementos de desintegración  $\beta^\pm$ , lo que finalmente lleva a elementos estables.

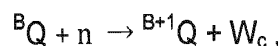
35 La primera materia objetivo puede comprender al menos un isótopo  ${}^A\text{P}$ . En un primer ejemplo, la primera materia objetivo comprende únicamente un isótopo. En un segundo ejemplo, la primera materia objetivo comprende dos isótopos. En un tercer ejemplo, la primera materia objetivo comprende una pluralidad de isótopos. El isótopo  ${}^A\text{P}$  en la primera materia objetivo tiene preferentemente una energía de enlace nuclear baja para permitir la liberación de neutrones. Además, el isótopo  ${}^A\text{P}$  en la primera materia objetivo tiene preferentemente una energía de enlace nuclear que es más grande que la energía de enlace nuclear del isótopo  ${}^{A-1}\text{P}$ .

45 La energía de enlace nuclear puede medirse como una energía de enlace nuclear total en un núcleo. De forma alternativa, la energía de enlace nuclear puede medirse como una energía de enlace nuclear por nucleón en el núcleo. En particular, la energía de enlace nuclear puede medirse como una energía de enlace nuclear promedio por nucleón en el núcleo.

50 La segunda materia objetivo puede comprender al menos un isótopo  ${}^B\text{Q}$ , donde B es el número de masa. En un primer ejemplo, la segunda materia objetivo comprende únicamente un isótopo. En un segundo ejemplo, la segunda materia objetivo comprende una pluralidad de isótopos. El isótopo  ${}^B\text{Q}$  en la segunda materia objetivo tiene preferentemente una energía de enlace nuclear que es más pequeña que la energía de enlace nuclear del isótopo, o isótopos, en la que se puede cambiar después del proceso de captura de neutrones.

55 Por energía de salida de radiación EM se entiende aquí la energía que se libera en el proceso de captura de neutrones. La energía se liberará en forma de ondas/fotones electromagnéticos que cubrirán una amplia gama de frecuencias (primarias, secundarias, etc.).

60 Los neutrones pueden capturarse por un isótopo estable o por un isótopo inestable. En un ejemplo, la captura de neutrones da como resultado un isótopo estable. En otro ejemplo, la captura de neutrones da como resultado un isótopo inestable. Un canal de reacción para la captura de neutrones que involucra un isótopo  ${}^B\text{Q}$  se puede escribir como



donde  $W_c$  es la energía liberada por la captura de neutrones. Esta reacción se puede repetir para capturar dos o más neutrones, lo que da como resultado los isótopos  ${}^{B+2}Q$ ,  ${}^{B+3}Q$ ,  ${}^{B+4}Q$ , etc. Estos tipos de isótopos se pueden escribir colectivamente como  ${}^{B+k}Q$ , donde  $k = 1, 2, 3, \dots$ . De hecho, en un ejemplo, solo un neutrón se captura por la segunda materia objetivo. En otro ejemplo, dos, tres o cuatro neutrones se capturan por la segunda materia objetivo. En otro ejemplo más, una pluralidad de neutrones se capturan por la segunda materia objetivo. El número de neutrones capturados puede correlacionarse con un flujo de neutrones producido por la primera materia objetivo. En particular, la captura de neutrones puede estar condicionada por un flujo crítico de neutrones. Por ejemplo, el flujo crítico puede estar entre  $10^{14}$  y  $10^{20}$  neutrones por  $\text{cm}^2$  por segundo.

Para que el proceso combinado de producción de neutrones y captura de neutrones sea efectivo, la tasa de producción de neutrones es preferentemente lo suficientemente alta para una relación de ganancia de energía, definida como una potencia de salida dividida por una potencia de entrada, para exceder la unidad.

De acuerdo con el concepto inventivo, se proporciona un procedimiento para su uso en la generación de energía. La primera materia objetivo puede producir neutrones al ponerla en un estado de resonancia. La producción de neutrones por la primera materia objetivo y la captura de neutrones por la segunda materia objetivo funcionan juntas para producir energía de salida. Un material en la segunda materia objetivo puede transferirse a un estado de menor energía mediante el cual se produce energía. Por ejemplo,  ${}^{58}\text{Ni}$  se puede cambiar a  ${}^{60}\text{Ni}$  capturando dos neutrones.

Además, la primera materia objetivo puede calentarse. El calor puede proporcionarse por un dispositivo de calefacción. Un dispositivo de calefacción diseñado adecuadamente puede producir ondas que lleven la primera materia objetivo al estado de resonancia. El procedimiento combinado de espalación de neutrones y captura de neutrones se puede implementar manteniendo una temperatura crítica en el combustible y para cumplir con los criterios de resonancia. Los criterios de resonancia se describirán más adelante.

El proceso de producción de neutrones requiere una entrada de energía más baja que la salida de energía proporcionada por la captura de neutrones. En particular, la energía en forma de radiación puede liberarse. Por ejemplo, los fotones que se caracterizan por tener momentos  $\mathbf{p}$ , o energías  $W=|\mathbf{p}|c$ , puede liberarse. De este modo, el procedimiento inventivo se puede utilizar como un paso parcial en la generación de energía. Por ejemplo, el exceso de energía provisto puede usarse para hacer funcionar una turbina de vapor para generar electricidad.

Otra ventaja de usar la captura de neutrones es que el neutrón puede entrar en el núcleo más fácilmente ya que el neutrón no tiene carga. De hecho, los procesos que implican partículas cargadas, tales como los protones, requieren energías considerablemente más altas para proporcionar la fusión nuclear, ya que se debe penetrar una barrera de Coloumb del núcleo.

Además, mediante el procedimiento inventivo, se proporciona un procedimiento más controlado para su uso en la generación de energía. De hecho, la tasa de producción de neutrones puede controlarse fácilmente ajustando la potencia externa, pero más aún ajustando la intensidad y el contenido de frecuencia de onda de la radiación de entrada EM. La tasa de producción de neutrones está directamente relacionada con la potencia y/o la intensidad y las frecuencias de onda de la radiación de entrada EM.

A continuación, se explicará el concepto de fuerza de gradiente en relación con la primera y la segunda materia objetivo. Como se explicará más adelante, la fuerza de gradiente puede surgir de la penetración de las ondas EM en la materia en cualquier estado agregado.

En la física del plasma, se sabe que la fuerza ponderomotora es una descripción efectiva de una fuerza no lineal promediada en el tiempo que actúa sobre un medio que comprende partículas cargadas en presencia de un campo EM oscilante no homogéneo. La base de la fuerza ponderomotora promediada en el tiempo es que las ondas EM transfieren energía e impulso a la materia.

De los cinco efectos ponderomotores potenciales, la fuerza de Miller y la fuerza de Abraham se consideran las más poderosas en un entorno débilmente magnetizado o sin gradientes magnéticos. Sin embargo, dependiendo del procedimiento de calentamiento, no se pueden excluir los efectos de la fuerza del gradiente magnético. Además, la fuerza de Barlow, inducida por colisiones de partículas de gas, también puede influir en la dinámica del sistema.

La fuerza de aceleración ponderomotora habilitadora global considerada aquí es la fuerza de Miller o, de manera equivalente, la fuerza de gradiente.

Bajo el supuesto de que un cuerpo sólido conductor puede tratarse como un plasma, o un plasma de estado sólido, se puede aplicar el concepto de fuerza de gradiente. Por dos razones, se elegirá una analogía de onda de Alfvén para derivar la fuerza de gradiente en sólidos. En primer lugar, porque se han observado ondas de Alfvén en los plasmas en todos los estados, es decir, en estados de plasma, estados gaseosos, estados líquidos y

estados sólidos. En segundo lugar, porque las ondas de Alfvén tienen una respuesta independiente de la frecuencia por debajo de la resonancia.

5 Se observa, sin embargo, que en general puede haber una mezcla de ondas de Alfvén y otras ondas, tales como las ondas acústicas, en el cuerpo sólido.

Por tanto, la fuerza de gradiente y una presión de gradiente relacionada surgen además de las fuerzas generadas por una presión de radiación EM ordinaria en un cuerpo, en el que el cuerpo puede estar en cualquier estado agregado.

10 El cuerpo sólido puede describirse como que comprende iones y electrones, dando lugar a una carga neutral total. Dado que la masa iónica es típicamente más de 1800 veces mayor que la masa de electrones, la masa de electrones puede ser descuidada. La densidad de masa y el forzamiento correspondiente sobre el plasma están, por lo tanto, determinados por la masa iónica,  $m$ . Las ondas de Alfvén que tienen una frecuencia  $\omega$  se propagan a lo largo de las líneas del campo magnético  $k = (0,0, k)$  en coordenadas cartesianas y tienen polarización lineal. La siguiente expresión se aplica a la fuerza de gradiente longitudinal (en unidades cgs) regida por las ondas de Alfvén en un fluido:

$$F_z = - \frac{e^2}{4m(\omega^2 - \Omega^2)} \frac{\partial E^2}{\partial z}, \quad (1)$$

20 donde  $e$  es la carga elemental y donde  $\Omega$  es una frecuencia de resonancia ciclotrónica. El gradiente espacial del campo eléctrico de onda cuadrada  $E^2$  en la dirección  $z$  determina la magnitud de la fuerza. Se observa que la expresión (1) tiene una singularidad en  $\omega^2 = \Omega^2$ . Además, la fuerza de gradiente es atractiva para  $\omega^2 < \Omega^2$  y repulsiva para  $\omega^2 > \Omega^2$ . De este modo, las ondas de Alfvén de baja frecuencia que tienen  $\omega^2 < \Omega^2$  atraen las partículas cargadas hacia la fuente de onda, mientras que las ondas de Alfvén de alta frecuencia que tienen  $\omega^2 > \Omega^2$  repelen las partículas. La atracción a bajas frecuencias puede concebirse como intuitivamente errónea. Sin embargo, se aplica claramente a un plasma y también se ha confirmado experimental y teóricamente para la materia de estado sólido neutro. Además de tener este cambio de fuerza direccional bipolar en la resonancia de onda, la fuerza de gradiente es independiente del signo de la carga de la partícula, debido al factor de  $e^2$ . Esto implica que la fuerza para iones positivos y electrones se dirige en la misma dirección.

35 Se observa que la materia neutral puede estar en un estado fluido, en un estado gaseoso, en un estado de plasma o en un estado sólido. Dado que la materia neutral a nivel atómico y nuclear constituye una carga, por lo tanto, se pueden considerar las oscilaciones atómicas (por ejemplo, movimientos brownianos) y las vibraciones interatómicas como "frecuencias fundamentales". El término de campo eléctrico de las ondas EM debería, por lo tanto, afectar un "medio" atómico unido por, por ejemplo, las fuerzas de Van-der-Wahl de manera similar a un plasma unido por un campo magnético fuerte.

40 Para los neutros no magnetizados, la analogía implica que la energía de onda puede penetrar, ya que la fuerza de gradiente funciona en protones atómicos y electrones colectivamente.

45 Para ondas de baja frecuencia tales como  $\omega^2 \ll \Omega^2$ , la expresión en la ecuación (1) se simplifica, ya que  $\omega$  puede ignorarse. En este caso, la fuerza se vuelve débilmente atractiva, independientemente de la estructura atómica o la masa.

50 Sin embargo, al acercarse la frecuencia de resonancia  $\omega^2 = \Omega^2$ , la fuerza del gradiente aumenta de forma no lineal. Las frecuencias de resonancia en la física del plasma están relacionadas con las propiedades intrínsecas del fluido, tal como la densidad del plasma, la masa de una partícula, la inercia de la partícula y el campo magnético. Se declara que lo mismo se aplica a la materia de estado sólido, excepto que también están implicadas las fuerzas mecánicas e interatómicas de Van de Wahl.

55 Por analogía, bajo el supuesto de que las ondas EM que irradian el fluido neutro/cuerpo sólido están polarizadas linealmente, la fuerza de gradiente ejercida sobre partículas individuales/átomos de masa  $m_a$  por ondas electromagnéticas polarizadas linealmente con una radiación, el campo eléctrico  $E$  se convierte en

$$F_z = - \frac{e^2}{4m_a(\omega^2 - \Omega_a^2)} \frac{\partial E^2}{\partial z}. \quad (2)$$

60 En particular, esta expresión puede ser válida para la primera materia objetivo. El gradiente teórico de fuerza en función de la frecuencia en la expresión (2) se asemeja al de la expresión (1), excepto que ahora hemos introducido una frecuencia de resonancia  $\Omega_a$ . La frecuencia de resonancia  $\Omega_a$  puede ser una frecuencia de resonancia para la materia en cualquier estado agregado, es decir, sólido, líquido, gaseoso o plasma. La fuerza de gradiente vuelve a ser atractiva en todo el rango de frecuencia por debajo de la resonancia, es decir, para  $\omega^2$

$< (\Omega_a)^2$ . Por encima de la resonancia  $\omega^2 > (\Omega_a)^2$ , la fuerza es repulsiva. A frecuencias muy por debajo de la resonancia,  $\omega^2 \ll (\Omega_a)^2$ , la fuerza del gradiente es independiente de la frecuencia de la onda y se aplica la siguiente expresión:

$$F_z \approx \frac{e^2}{4m_a \Omega_a^2} \frac{\partial E^2}{\partial z} . \quad (3)$$

Si la materia está en un estado agregado sólido, la frecuencia de resonancia se puede escribir como  $\Omega_a = c/a$ , donde  $a$  es la distancia interatómica y  $c$  es la velocidad local de la luz en los medios. En este caso, obtenemos para  $\omega^2 \ll (\Omega_a)^2$  la expresión aproximada

$$F_z \approx \frac{a^2 e^2}{4m_a c^2} \frac{\partial E^2}{\partial z} = \xi(a, m_a) \frac{\partial E^2}{\partial z} . \quad (4)$$

Aquí, la fuerza depende de una constante de material,  $\xi(a, m_a)$  y del gradiente espacial del campo eléctrico de onda cuadrada  $E^2$  que se propaga hacia la materia. La energía de las olas puede entrar en calefacción y/o en energía cinética. La atracción de onda está determinada por el gradiente espacial de  $E^2$  que puede escribirse como el cociente  $\delta E^2 / \delta z$ , donde  $\delta E^2$  es una diferencia de  $E^2$  sobre una longitud de interacción diferencial  $\delta z$ . Una constante material  $\xi(a, m_a)$ , el gradiente  $\delta E^2 / \delta z$  y el campo eléctrico de onda transversal  $E$ , ahora determina la fuerza de gradiente ejercida sobre los átomos individuales en el cuerpo. Obsérvese que la distancia interatómica  $a$  define la fuerza de unión, o tensión, en analogía con el campo magnético que controla el movimiento del plasma. El factor  $a$  puede ser un parámetro que defina la resonancia. Puede haber parámetros adicionales para definir la resonancia.

Más generalmente,  $u$  en la expresión  $\Omega_a = u/a$  está relacionada con la velocidad local de las ondas EM en los medios (por ejemplo, acústica, acústica de iones).

Se ha demostrado que los resultados analíticos derivados de la expresión (4) están en buena concordancia con los hallazgos experimentales del experimento de vacío Cavendish.

Para la primera o la segunda materia objetivo, la siguiente expresión para la fuerza de gradiente se puede obtener de la ecuación (4) anterior:

$$F_z \approx K(a, m_a) \frac{\partial E^2}{\partial z} . \quad (5)$$

Aquí  $K(a, m_a)$  son propiedades características de la primera y/o de la segunda materia objetivo. Las propiedades características pueden ser una masa atómica correspondiente, varios átomos y una distancia de separación atómica, etc.

La fuerza de gradiente puede volverse más fuerte cuando la potencia de entrada de la radiación EM de entrada se haga más fuerte. Por ejemplo, la fuerza de gradiente en el rango de baja frecuencia  $\omega^2 \ll (\Omega_a)^2$  es directamente proporcional a la potencia de entrada de la entrada de radiación EM.

Como se señaló anteriormente, también pueden surgir fuerzas de Abraham en el cuerpo sólido. Por analogía con

$$F_z = \pm \left( \frac{mc^2}{2c_A B^2} \right) \partial E^2 / \partial t,$$

un plasma, la fuerza longitudinal de Abraham puede describirse en este caso  $F_z = \pm \left( \frac{mc^2}{2c_A B^2} \right) \partial E^2 / \partial t$ , siendo proporcional a la variación temporal del campo eléctrico cuadrado.  $c_A$  es la velocidad de Alfvén y  $B$  es el campo magnético. El signo más o menos corresponde a la propagación de onda paralela o antiparalela con la dirección del campo magnético  $B$ , respectivamente. La fuerza de Abraham puede ser significativa para cambios rápidos de  $E$  y/o campos magnéticos débiles. Este último puede estar asociado con bajas frecuencias de resonancia ciclotrónica que pueden dar lugar a bajas tasas de producción de neutrones. El mérito de la fuerza de Abraham puede ser, en cambio, promover el calentamiento mediante los cambios de campo EM rápidos y direccionales. Adicionalmente, la fuerza de Abraham puede mantener el enfoque longitudinal en el reactor.

El hecho de que las ondas EM en un plasma puedan conducir a la atracción no es obvio. Las ondas magnetohidrodinámicas, ondas MHD, son una clase de ondas en fluidos donde el plasma y el campo magnético muestran una oscilación mutua, el plasma considerado "congelado" en el campo magnético. En un campo magnético espacialmente unidireccional, la frecuencia de resonancia del plasma, en lugar de la dirección de propagación de onda (dirección  $+z$ ), determina la dirección de la fuerza. Desde  $\Omega = eB/mc$  tenemos para ondas

de baja frecuencia,  $\omega^2 \ll \Omega^2$  que  $F_z \approx \frac{mc^2}{2B^2} \frac{\partial E^2}{\partial z}$ . Esto implica que la fuerza es constante e independiente de la

frecuencia de onda en un medio homogéneo con constante B a frecuencias muy bajas, siendo la fuerza proporcional al gradiente de la intensidad de la onda EM. Debido a que la intensidad de la onda disminuye durante la interacción (ejerciendo fuerza sobre la materia), la fuerza se dirige de manera opuesta a la dirección de propagación de la onda.

5

El concepto de ondas MHD se deriva de la descripción fluida de los plasmas. Las ondas MHD se rigen por la tensión magnética en el plasma magnetizado. Cuanto más fuerte sea la tensión magnética, más débil será la velocidad del grupo de ondas y la fuerza de gradiente. De forma similar, las ondas MHD en el plasma de estado sólido se rigen por sus propiedades dieléctricas y la tensión interatómica. Aunque la frecuencia de resonancia local en plasma magnetizado gaseoso está determinada por la girofrecuencia de iones, la frecuencia de resonancia local en sólidos neutros y gases neutros, que comprenden átomos, es menos obvia. Sin embargo, como ya se ha señalado, la fuerza de gradiente es neutra respecto de la carga, lo que implica que la fuerza en las partículas cargadas positiva (protones) y negativa (electrones) va en la misma dirección. La analogía con las ondas MHD en plasma es útil, porque la MHD ideal implica que no hay transporte de partículas per se en la materia. En cambio, la materia está sujeta al forzamiento por la liberación local de energía de onda, caracterizada por un gradiente espacial del campo eléctrico de onda. Para establecer la captura de neutrones de acuerdo con el procedimiento de la invención, se requiere una cierta mezcla de "nucleones de espalación", tales como  ${}^7\text{Li}$  o D, y nucleones de captura de neutrones de alto rendimiento, tales como  ${}^{58}\text{Ni}$  o  ${}^{40}\text{Ca}$ . En el curso de este proceso nuclear, y dependiendo del medio ambiente, pueden tener lugar otras transferencias de estados, por ejemplo la captura de electrones. Sin embargo, con un diseño adecuado del sistema, estos procesos pueden tener implicaciones menores para el presupuesto de energía de salida.

10

15

20

Dependiendo de una resonancia de temperatura de combustible y de onda, la tasa de producción de neutrones en una mezcla  ${}^7\text{Li}$ - ${}^{58}\text{Ni}$  o  ${}^7\text{Li}$ - ${}^{40}\text{Ca}$  objetivo pueden alcanzar un estado en el que una potencia de salida causada por neutrones captura exceda sustancialmente una potencia de entrada.

25

Además de calentar el reactor, el exceso de potencia de la captura de neutrones también puede mejorar la velocidad de espalación. Esto último se puede lograr al aumentar la potencia de entrada de la radiación EM al reactor. Adicionalmente, la potencia de onda cerca de la resonancia puede mejorar aún más la velocidad de espalación. Debido a que la relación teórica entre la espalación de neutrones y el proceso de captura de neutrones  ${}^{58}\text{Ni} \rightarrow {}^{60}\text{Ni}$  puede variar entre 1,4 para  ${}^7\text{Li}$  y 3,6 para deuterio, la espalación de neutrones accionada externamente solo puede alcanzar las ganancias mencionadas anteriormente. Sin embargo, el exceso de potencia junto con la captura de neutrones puede retroalimentarse al proceso de producción de neutrones y conducir a mayores tasas de espalación. Este proceso intrínseco de espalación accionado por la captura de neutrones puede aumentar adicionalmente la ganancia de potencia. Por ejemplo, la ganancia de potencia puede aumentarse en un orden de magnitud en comparación con el proceso conducido directamente. Teniendo en cuenta el desplazamiento de la fuerza direccional bipolar de la fuerza de gradiente, como se explicó anteriormente, se debe evitar el exceso de calentamiento o las frecuencias de onda que alcanzan la resonancia por encima. Si no, el sistema puede colapsar por el rechazo de la fuerza de gradiente.

30

35

40

A continuación, se describirán diversos modos de realización del concepto inventivo.

De acuerdo con un modo de realización, la energía de entrada de radiación EM se obtiene de la radiación EM que comprende al menos un modo de frecuencia de resonancia comprendido en un intervalo de frecuencia. La energía de entrada de radiación EM también puede contener un amplio espectro de armónicos con radiación EM que comprende una pluralidad de frecuencias con armónicos que se aproximan a al menos un modo de frecuencia de resonancia. El acto de exponer la primera materia objetivo a la radiación EM que tiene un modo de frecuencia de resonancia puede llevar a la primera materia objetivo a un estado cercano, pero por debajo de la resonancia.

45

50

La frecuencia de resonancia puede ser una frecuencia de resonancia mecánica. Alternativamente, la frecuencia de resonancia puede ser una frecuencia de resonancia de onda EM.

La frecuencia de resonancia puede estar asociada con un estado agregado de la primera materia objetivo. En particular, puede haber una frecuencia de resonancia de la primera materia objetivo en un estado sólido, una frecuencia de resonancia de la primera materia objetivo en un estado gaseoso, y otra frecuencia de resonancia de la primera materia objetivo en un estado de plasma.

55

Preferentemente, el modo de frecuencia de resonancia es una frecuencia que está cerca de una frecuencia de resonancia crítica. Este puede ser un criterio de resonancia. La frecuencia de resonancia crítica puede ser una frecuencia en la cual la fuerza del gradiente se vuelva divergente y/o en la cual la fuerza del gradiente cambie de dirección.

60

A modo de ejemplo, la frecuencia de resonancia se puede considerar cercana a la frecuencia de resonancia crítica si la relación entre la frecuencia de resonancia y la frecuencia de resonancia crítica está entre 0,8 y 0,999, o más preferentemente entre 0,9 y 0,99.

65



Además, el modo de frecuencia de resonancia es preferentemente una frecuencia que es más pequeña que la frecuencia de resonancia crítica mencionada anteriormente. Este puede ser un criterio de resonancia. Una frecuencia de resonancia más pequeña que la frecuencia de resonancia crítica puede dar como resultado una contracción del combustible, como se indicó anteriormente y se describirá más adelante.

Es importante destacar que el modo de frecuencia de resonancia puede ser una frecuencia en cualquier parte del intervalo de frecuencia. Sin embargo, la cantidad de neutrones producidos puede depender del modo de frecuencia de resonancia que se use.

El intervalo de frecuencia puede extenderse desde una frecuencia más baja a la frecuencia de resonancia crítica. Por ejemplo, el generador de ondas externo puede proporcionar un primer modo de frecuencia de resonancia y un segundo modo de frecuencia de resonancia, por lo que el primer modo de frecuencia de resonancia está más cerca de la frecuencia de resonancia crítica que el segundo modo de frecuencia de resonancia. Al exponer la primera materia objetivo a la energía de entrada de radiación EM con el primer modo de frecuencia de resonancia puede producir más neutrones que al exponer la primera materia objetivo a la energía de entrada de radiación EM con el segundo modo de frecuencia de resonancia. Adicionalmente, una mayor potencia de entrada también puede aumentar la tasa de producción de neutrones.

Por tanto, la transferencia de energía de onda es preferentemente una transferencia de energía resonante. Sin embargo, también puede ser una transferencia de energía no resonante. Por transferencia de energía resonante se entiende que la frecuencia de la radiación EM está comprendida en el intervalo de frecuencia cercano a la frecuencia de resonancia crítica.

El al menos un modo de frecuencia de resonancia puede comprender múltiplos de una sola frecuencia de resonancia. Este puede ser un criterio de resonancia. Por ejemplo, una frecuencia de resonancia  $\omega$  puede dar lugar a las múltiples frecuencias de resonancia  $2\cdot\omega$ ,  $3\cdot\omega$ ,  $4\cdot\omega$ ,  $5\cdot\omega$ , ..., etc.

El modo de frecuencia de resonancia se puede elegir de modo que una energía asociada sea igual o superior a la energía del umbral para causar la espalación de los neutrones en la primera materia objetivo.

A modo de ejemplo, cuando el modo de frecuencia de resonancia está cerca de la frecuencia de resonancia crítica, la fuerza de gradiente puede tener una fuerza entre  $10^{-5}$  N y 1 N. En otro ejemplo, la fuerza de gradiente puede tener una fuerza entre 0,01 N y 0,1 N. Es evidente, sin embargo, que otras fortalezas son igualmente concebibles.

Una tasa de producción de neutrones puede depender de al menos una de las fuerzas de gradiente, de la temperatura del combustible y de la frecuencia de resonancia.

En un primer ejemplo, la frecuencia de resonancia crítica asociada a un gas/plasma para  ${}^7\text{Li}$  es  $\Omega_a = 1,3\cdot 10^{16}$  Hz.  $\Omega_a$  se basa entonces en una distancia interatómica de longitud de onda  $a = 1,1\cdot 10^{-8}$  m, propagándose la onda a la velocidad de la luz (c).

En un segundo ejemplo, la frecuencia de resonancia crítica para  ${}^7\text{Li}^+$ , que es una resonancia de onda acústica iónica del gas/plasma correspondiente, es  $\Omega_a = 7,9\cdot 10^{13}$  Hz. La interatómica media en el gas/plasma es  $a = 1,1\cdot 10^{-9}$  m.

En un tercer ejemplo, la frecuencia crítica y la distancia interatómica promedio para  $\text{D}^+$  para las ondas acústicas de iones del correspondiente gas/plasma de deuterio es  $\Omega_a = 1,3\cdot 10^{13}$  Hz y  $a = 6,1\cdot 10^{-9}$  m respectivamente.

De acuerdo con un modo de realización, al menos un modo de frecuencia de resonancia está asociado con una distancia interatómica de la primera materia objetivo. Para una porción dada de la primera materia objetivo, los átomos pueden estar dispuestos en una red tridimensional. Si la primera materia objetivo comprende varios isótopos, la porción puede estar relacionada con un isótopo específico que tenga una estructura de red fija. La distancia interatómica en las direcciones x, y y z de la red se puede escribir como  $a_x$ ,  $a_y$  y  $a_z$ , respectivamente. Claramente, las distancias interatómicas  $a_x$ ,  $a_y$  y  $a_z$  en general pueden ser diferentes y dependen del tipo específico de red.

El modo de frecuencia de resonancia  $\omega_i$  puede estar relacionado con la distancia interatómica  $a_i$  por la relación  $\omega_i = u_i/a_i$ , donde  $u_i$  es constante y donde  $i = x, y$  o  $z$ . La constante  $u_i$  tiene las dimensiones de velocidad, es decir,  $[u_i] = \text{L}\cdot\text{T}^{-1}$ , donde L y T son un parámetro de longitud y un parámetro de tiempo, respectivamente. La constante  $u_i$  puede ser componente de una velocidad en una dirección específica o una magnitud de una velocidad. En un primer ejemplo no limitativo, la constante  $u_i$  es una velocidad del sonido de una porción de la primera materia objetivo. La velocidad del sonido puede ser una velocidad del sonido de iones. En el segundo y tercer ejemplo no limitativo, la constante  $u_i$  es una velocidad de onda de plasma  $u_w$  de una porción de la primera materia objetivo.

- De acuerdo con un modo de realización, el al menos un modo de frecuencia de resonancia es un modo de frecuencia de resonancia de gas o de plasma de la primera materia objetivo, una resonancia de plasma que caracteriza los plasmas magnetizados y/o no magnetizados de la primera materia objetivo, o un modo de frecuencia de resonancia de sólido/fluido/gaseoso/plasma de dicha segunda materia objetivo.
- 5 De acuerdo con un modo de realización, el procedimiento comprende además llevar la primera materia objetivo a un estado de plasma. De hecho, el forzamiento de gradiente puede volverse dominante en el estado de plasma de la primera materia objetivo.
- 10 De acuerdo con un modo de realización, el procedimiento comprende además llevar la primera materia objetivo desde un estado sólido a un estado líquido. El procedimiento puede comprender además llevar la primera materia objetivo de un estado líquido a un estado gaseoso. Además, el procedimiento puede comprender además llevar la primera materia objetivo del estado gaseoso a un estado de plasma.
- 15 De acuerdo con un modo de realización, la segunda materia objetivo se mantiene en estado sólido como un polvo de grano fino (régimen de baja temperatura). De acuerdo con un modo de realización, el procedimiento comprende además llevar la segunda materia objetivo a un estado líquido o gaseoso.
- De acuerdo con un modo de realización, el procedimiento comprende además calentar al menos uno de la primera materia objetivo y de la segunda materia objetivo. Por medio de este modo de realización, se pueden producir más neutrones. De hecho, un combustible más caliente puede estar sujeto a compresión por la fuerza de gradiente, que es mutuamente beneficiosa para la producción de neutrones y la captura de neutrones.
- 20 De acuerdo con un modo de realización, el calentamiento se proporciona mediante calentamiento por inducción. El calentamiento por inducción puede ser un calentamiento por inducción de dos o tres fases. Una ventaja de este modo de realización es que el calentamiento del combustible puede realizarse por medio de un dispositivo de calentamiento que no tenga que hacer contacto físico con el combustible. Más bien, el calentamiento se puede lograr por medio de corrientes de Foucault inducidas que impliquen un calentamiento por resistencia en el combustible. Además, el calentamiento puede lograrse por medio de pérdidas por histéresis magnética en el combustible.
- 25 Como se indicó anteriormente, otra implicación de la fuerza de gradiente es que la materia caliente puede atraer materia fría. Por ejemplo, la primera materia objetivo puede enfriarse cuando se liberen o emitan neutrones. De este modo, la primera materia objetivo puede atraerse a la segunda materia objetivo. En particular, la primera materia objetivo puede atraerse hacia un núcleo de la segunda materia objetivo.
- 30 El calentamiento del combustible puede tener consecuencias para un núcleo del combustible, incluso cuando la primera materia objetivo se irradie con radiación EM que tenga frecuencias muy por debajo de la resonancia crítica. Las altas temperaturas del combustible pueden provocar una contracción del núcleo de fuerza de gradiente y la atracción de partículas ambientales. Independientemente del estado agregado de la materia, el calentamiento de la onda cerca de la resonancia puede llevar a un forzamiento sustancial. El forzamiento de la resonancia acumulada puede alcanzar finalmente las energías de fisión/espalación para la primera materia objetivo.
- 35 El calentamiento, la evaporación y la ionización de la primera materia objetivo pueden conducir a la espalación de neutrones en el reactor solo en virtud de la alta temperatura central, pero en este caso la tasa de producción debería ser baja. La fuerza puede ser de órdenes de magnitudes más altas cerca de la frecuencia de resonancia.
- Se pueden concebir varias resonancias, cada una relacionada con sus estados agregados correspondientes. Teniendo en cuenta el poder del forzamiento de EM, el forzamiento de EM también dominará un gas neutro. En particular, esto es válido en un entorno en el que una tasa de ionización supera el 0,01 %. Por esa razón, el proceso de espalación puede tratarse como un proceso gobernado por resonancias de plasma. La tasa de ionización para el primer objetivo (iones de litio y deuterio) es un equilibrio entre la ionización y la recombinación. La recombinación significa que los iones regresan a los neutros. Para mantener una alta tasa de ionización en un entorno de gas denso se requiere un exceso de fuerza EM.
- 40 De acuerdo con un modo de realización, la energía de entrada de radiación EM se proporciona en forma de una señal de onda cuadrada o de una señal de onda sinusal. La señal de onda cuadrada comprende una pluralidad de armónicos, es decir, modos de frecuencia. En particular, la señal de onda cuadrada puede comprender al menos un modo de frecuencia de resonancia. Otros tipos de señales son igualmente concebibles. En particular, puede preferirse una señal no sinusal. Por ejemplo, puede proporcionarse una señal de diente de sierra. Adicionalmente, se pueden proporcionar señales irregulares.
- 45 De acuerdo con un modo de realización, el procedimiento comprende además, a condición de que se produzca una potencia de salida de radiación EM por encima de un valor de umbral de potencia, manteniendo la producción de energía de salida de radiación EM exponiendo la primera materia objetivo a la energía de
- 50
- 55
- 60
- 65

mantenimiento de radiación EM. Una ventaja de este modo de realización es que una vez que la energía de salida de radiación EM se produce por encima del valor de umbral de potencia, se puede producir energía de salida de radiación EM adicional entrando energía de mantenimiento en la primera materia objetivo. En particular, esto puede lograrse mientras el calentamiento se apaga gradualmente. Adicionalmente, la energía de mantenimiento puede mantenerse cuando la calefacción se haya apagado completamente. La energía de mantenimiento puede suministrarse desde una fuente que esté separada del dispositivo de calefacción mencionado anteriormente.

En un ejemplo, la primera materia objetivo está únicamente expuesta a la energía de mantenimiento EM. En particular, no hay calentamiento, tal como el calentamiento externo, de la primera materia objetivo. En otro ejemplo, la primera materia objetivo está expuesta a la calefacción, así como a la energía de mantenimiento EM.

De acuerdo con un modo de realización alternativa, el procedimiento comprende además, a condición de que los neutrones se produzcan por encima de un valor umbral, mantener la producción de energía de salida de radiación EM al exponer la primera materia objetivo a la energía de mantenimiento de radiación EM.

Para reiterar, un enfoque conservador y de ahorro de energía puede ser ejecutar el proceso de captura de neutrones en una entrada de baja potencia. Al alcanzar un primer neutrón que captura un estado casi estable a alta potencia, una fuente de onda EM de alta frecuencia y baja potencia que trabaja cerca, pero por debajo, de la frecuencia de resonancia puede tomar el control, lo que lleva a un segundo estado casi estable. Por segundo estado casi estable se entiende aquí que se necesita menos potencia de entrada para mantener el proceso de captura de neutrones y, por lo tanto, la generación de energía. Las ondas de alta frecuencia de baja potencia cercanas a la resonancia crítica son suficientes para elevar las tasas de espalación de neutrones desde una línea de base de temperatura mantenida principalmente por calentamiento interno.

Después de alcanzar una potencia de salida deseada, el reactor puede operar con una salida de potencia constante, casi autosostenida, regulada por entradas correctivas menores de una fuente de onda. La fuente de onda puede ser una fuente de onda de alta frecuencia de baja potencia. Además de tener un mejor control del proceso de captura de neutrones, el proceso mencionado anteriormente puede controlar la ganancia de alta potencia y ofrece un funcionamiento sostenible del reactor.

De acuerdo con un modo de realización, la energía de mantenimiento de radiación EM se obtiene de la radiación EM que comprende al menos un modo de frecuencia de resonancia comprendido en un intervalo de frecuencia.

De acuerdo con un modo de realización, la energía de mantenimiento de radiación EM se proporciona por medio de una fuente de onda. La fuente de onda, o generador de onda, puede ser una fuente de onda EM. En un ejemplo no limitativo, la fuente de onda es un electrodo de descarga. Por medio de la fuente de onda, la energía de mantenimiento puede proporcionarse de una manera más controlada. Además, puede ser necesaria una potencia inferior para mantener la producción de neutrones. De hecho, por medio de la fuente de onda, las operaciones estables pueden mantenerse a una potencia reducida. La potencia reducida puede ser considerable en comparación con la potencia proporcionada por el calor combinado y la energía de entrada de radiación EM.

De acuerdo con un modo de realización, el procedimiento puede comprender el acto de un generador termoeléctrico de peso ligero para sondas de espacio profundo. La unidad fuente que funciona en modo de mantenimiento de baja potencia es capaz de funcionar a largo plazo (> 30 años), lo que requiere una minúscula de materia objetivo. La ventaja, en comparación con otras soluciones, es que no se necesitan elementos radiactivos para proporcionar la generación de energía.

De acuerdo con un modo de realización alternativo, el procedimiento puede comprender además el acto de hacer funcionar una turbina por medio de la producción de energía de radiación EM producida, y generar electricidad por medio de la turbina. La turbina puede ser una turbina de vapor.

De acuerdo con un modo de realización, el procedimiento puede comprender además proporcionar una tercera materia objetivo que comprenda un material catalizador.

Se observa que los pasos del procedimiento descrito anteriormente, o cualquiera de sus modos de realización, no tienen que realizarse en el orden exacto descrito anteriormente.

De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona un aparato para la generación de energía que comprende: una unidad fuente para producir energía de entrada de radiación EM, una primera materia objetivo y una segunda materia objetivo. La unidad fuente está dispuesta para exponer la primera materia objetivo a la energía de entrada de radiación EM para llevar la primera materia objetivo a través de la resonancia de onda a un estado de energía más alta, para producir un primer cambio isotópico en la primera materia objetivo y los neutrones resultantes del primer cambio isotópico, y para capturar los neutrones por la segunda materia objetivo para producir un segundo cambio isotópico en la segunda materia objetivo y la energía de salida de radiación electromagnética.

Los detalles y ventajas del segundo aspecto de la invención son en gran parte análogos a los del primer aspecto de la invención, en donde se hace referencia a lo anterior.

5 De acuerdo con un modo de realización, el aparato comprende además una unidad de fuente EM para producir campos magnéticos y/o eléctricos. En un ejemplo no limitativo, la unidad de origen EM y la unidad de origen para producir energía de entrada de radiación EM son iguales.

10 De acuerdo con un modo de realización, que comprende además un recipiente de combustible para contener la primera materia objetivo y la segunda materia objetivo. El recipiente de combustible puede contener un material que absorba radiación y/o absorba neutrones. En particular, el recipiente de combustible puede contener un material que absorba la radiación suave y/o absorba los neutrones térmicos. El recipiente de combustible puede comprender un material cerámico. El material cerámico puede comprender un óxido de aluminio.

15 De acuerdo con un modo de realización, el recipiente de combustible es una cámara de presión. Por medio de la cámara de presión, la presión del combustible del reactor en el recipiente de combustible se puede ajustar y controlar de una manera mejorada. Por ejemplo, cuando la primera materia objetivo se traslada de un estado sólido a un estado de gas, el volumen de la primera materia objetivo puede aumentar, lo que aumenta la presión en el recipiente de combustible. La presión puede controlarse mediante un sistema de ventilación conectado a la  
20 cámara de presión. El sistema de ventilación también se puede usar para suministrar la primera materia objetivo en forma gaseosa y/o en forma líquida al reactor.

25 De acuerdo con un modo de realización, la primera materia objetivo y la segunda materia objetivo se mezclan. Las primera y segunda materias objetivo se pueden mezclar proporcionalmente, por lo que la cantidad de la primera materia objetivo y la cantidad de la segunda materia objetivo se adaptan para producir una mayor cantidad de neutrones. Por medio de materias objetivo mixtas, las operaciones a largo plazo del aparato se pueden mantener de manera estable. La estabilidad se puede proporcionar a niveles de ganancia predeterminados.

30 En un primer ejemplo no limitativo, al menos una de la primera materia objetivo y de la segunda materia objetivo se proporciona en forma de granos. En un segundo ejemplo no limitativo, la segunda materia objetivo se proporciona en forma de una red. En un tercer ejemplo no limitativo, la segunda materia objetivo se proporciona en forma de cadena o de fibra.

35 En general, todos los términos usados en las reivindicaciones deben interpretarse de acuerdo con su significado ordinario en el campo técnico, a menos que se defina explícitamente lo contrario en el presente documento. Todas las referencias a "un/una/el [elemento, dispositivo, componente, medio, paso, etc.]" deben interpretarse abiertamente como que se refieren a al menos una instancia de dicho elemento, dispositivo, componente, medio, paso, etc. a menos que explícitamente se indique lo contrario.

40

#### **Breve descripción de los dibujos**

45 Lo anterior, así como los objetos, características y ventajas adicionales de la presente invención, se entenderán mejor a través de la siguiente descripción ilustrativa y no limitativa de los modos de realización preferentes de la presente invención, con referencia a los dibujos adjuntos, donde los mismos números de referencia se usarán para elementos similares, en donde:

50 La Fig. 1 es una vista esquemática en sección transversal de un aparato de acuerdo con un modo de realización del presente concepto inventivo.

La Fig. 2 es una vista lateral esquemática del aparato en la Fig. 1.

La Fig. 3 es un diagrama de flujo que ilustra un modo de realización del procedimiento inventivo.

55 La Fig. 4 es un diagrama de flujo que ilustra el paso de mantener la generación de energía de acuerdo con el diagrama de flujo en la Fig. 3.

La Fig. 5 es una simulación de potencia en función del tiempo de un dispositivo de  ${}^7\text{Li}$  y  ${}^{58}\text{Ni}$ .

60 La Fig. 6 es una simulación de potencia en función del tiempo de un dispositivo D y  ${}^{58}\text{Ni}$ .

#### **Descripción detallada de los modos de realización preferentes**

65 A continuación, el concepto inventivo se describirá con referencia a la Fig. 1 y a la Fig. 2 que ilustran esquemáticamente un aparato 100 de acuerdo con un modo de realización del presente concepto inventivo. La

Fig. 1 es una vista en sección transversal del aparato 100 y la Fig. 2 es una vista lateral a lo largo de la vista A-A en la Fig. 1.

El aparato 100 puede denominarse cilindro reactor, o simplemente reactor, y comprende una cámara 110, una disposición de bobina de inducción 120, un recipiente de combustible 130 y una disposición de parte lateral 140.

La cámara 110 es un cilindro cerámico que forma una barrera externa del aparato 100 y encierra la disposición de bobina de inducción 120 y el recipiente de combustible 130. La cámara 110 tiene una sección transversal anular. Además, la cámara 110 está ajustada estrechamente con la disposición de parte lateral 140.

La disposición de bobina de inducción 120 está dispuesta simétricamente en una configuración retorcida alrededor del recipiente de combustible 130. De este modo, se proporciona un enfoque geométrico sobre el centro de un reactor del aparato 100. La disposición de bobina de inducción 120 comprende al menos una bobina de inducción. Un primer cable 122 está conectado a un extremo izquierdo de la disposición de bobina de inducción 120 y un segundo cable 124 está conectado a un extremo derecho de la disposición de bobina de inducción 120. En el funcionamiento del aparato 100, los primer 122 y segundo 124 cables están conectados a una fuente de energía eléctrica (no mostrada) que alimenta la disposición de bobina de inducción 120. La fuente de alimentación eléctrica está dispuesta para pasar una corriente alterna a través de un electroimán en la disposición de bobina de inducción 120.

De acuerdo con el presente modo de realización, la fuente de energía está dispuesta para suministrar una señal de onda cuadrada a la disposición de bobina de inducción 120. La señal de onda cuadrada tiene una amplitud y una anchura fijas, y se elige de modo que contenga al menos un modo de frecuencia de resonancia. La potencia de la señal de la fuente de alimentación es fija.

El recipiente de combustible 130 tiene una sección transversal anular como se puede ver en la Fig. 1. Además, el recipiente de combustible 130 está hecho de acero. Hay combustible 200 proporcionado en una porción central del recipiente de combustible 130 que se extiende a lo largo de una porción longitudinal del recipiente de combustible 130. El combustible 200 comprende una primera materia objetivo 210 y una segunda materia objetivo 220. Inicialmente, es decir, antes de cualquier operación del aparato 100, la primera materia objetivo 210 comprende Litio-7,  ${}^7\text{Li}$ , y la segunda materia objetivo 220 comprende Níquel-58,  ${}^{58}\text{Ni}$ . De acuerdo con el presente modo de realización, la primera 210 y la segunda 220 materia objetivo se proporcionan en forma de granos y se mezclan.

Opcionalmente, el recipiente de combustible 130 puede comprender una capa protectora de absorción de neutrones (no mostrado) para bloquear los neutrones. Además, el recipiente de combustible 130 puede comprender un escudo de absorción de radiación (no mostrado) para bloquear la radiación. El escudo de absorción de neutrones y/o radiación puede estar dispuesto en al menos porciones del recipiente de combustible 130. Por ejemplo, un solo escudo puede formar el escudo de absorción de radiación y neutrones.

Se entiende que el ejemplo anterior no es limitativo y que otros materiales pueden estar comprendidos en la primera materia objetivo 210, tal como el deuterio. Además, se entiende que otros materiales pueden estar comprendidos en la segunda materia objetivo 220, tal como  ${}^{40}\text{Ca}$ ,  ${}^{46}\text{Ti}$ ,  ${}^{52}\text{Cr}$ ,  ${}^{64}\text{Zn}$ ,  ${}^{70}\text{Ge}$  y  ${}^{74}\text{Se}$ .

La disposición de la parte lateral 140 comprende una primera parte lateral 142 y una segunda parte lateral 144. La disposición de parte lateral 140 comprende una unidad de electrodo de descarga 150 que está dispuesta en la primera 142 y en la segunda 144 parte lateral. Un tercer cable 126 está conectado a un electrodo de descarga izquierdo de la unidad de electrodo de descarga 150 y un cuarto cable 128 está conectado a un electrodo de descarga derecho de la unidad de electrodo de descarga 150. En el funcionamiento del aparato 100, los tercer 126 y cuarto 128 cables están conectados a una fuente de energía eléctrica (no mostrada) que alimenta la unidad de electrodo de descarga 150.

De acuerdo con el presente modo de realización, la unidad de electrodo de descarga 150 está separada espacialmente del recipiente de combustible 130. El electrodo de descarga puede disparar pulsos nano-extendidos de alto voltaje a intervalos controlados. Un voltaje de los pulsos puede ser del orden de kilovoltios, kV. Es evidente que, de acuerdo con un modo de realización alternativo, la unidad de electrodo de descarga 150 puede estar conectada espacialmente al recipiente de combustible 130.

A continuación, se describirá un modo de realización del procedimiento inventivo (Recuadro 300) para su uso en generación de energía con referencia a los diagramas de flujo en la Fig. 3 y en la Fig. 4. El procedimiento se implementa en el aparato, o cilindro de reacción, 100 que se ha descrito anteriormente.

Primero, el combustible 200 se proporciona en el recipiente de combustible 130 (Recuadro 310). El combustible 200 comprende la primera materia objetivo 210 y la segunda materia objetivo 220 que comprenden  ${}^7\text{Li}$  y  ${}^{58}\text{Ni}$ , respectivamente. Más específicamente, el combustible 200 comprende  ${}^7\text{Li}$  que se mezcla con  ${}^{58}\text{Ni}$ . Tanto el  ${}^7\text{Li}$  como el  ${}^{58}\text{Ni}$  se proporcionan en forma sólida.

A continuación, el combustible 200 se irradia por radiación EM (Recuadro 320) por medio de la disposición de bobina de inducción 120 como se ha descrito anteriormente. De este modo, la primera materia objetivo 210 se lleva primero a un estado gaseoso, y parcialmente ionizado, y posteriormente a un estado de mayor energía a través de la resonancia de onda. Más específicamente, la radiación EM comprende al menos un modo de frecuencia de resonancia que tiene una frecuencia que está cerca pero por debajo de una frecuencia de resonancia crítica. La frecuencia de resonancia crítica es una frecuencia en la cual una fuerza de gradiente que se induce por la irradiación EM se vuelve singular. Las características de la fuerza de gradiente se han detallado en la sección de resumen anterior. En particular, se ha explicado que la fuerza del gradiente actúa en diferentes direcciones por debajo y por encima de la frecuencia de resonancia crítica. Las direcciones pueden ser opuestas entre sí. En particular, la fuerza de gradiente actúa para contraer la materia en el combustible 200 por debajo de la frecuencia de resonancia crítica.

La irradiación por radiación EM se incrementa gradualmente a una potencia de entrada fija.

La disposición de la bobina de inducción 120 induce además un calentamiento adicional del combustible 200 (Recuadro 330). Obsérvese que el canal de descarga central combinado y el enfoque geométrico del calentamiento por inducción dan una mayor deposición de energía radiativa sobre el combustible 200.

El enfoque geométrico puede escalar con un tamaño del aparato 100. En un ejemplo no limitativo, el enfoque geométrico en el aparato 100 puede amplificar la radiación en el punto focal en un factor de 2-6, dependiendo de la geometría de enfoque. De este modo, las fuerzas de gradiente en función de la potencia de entrada para la primera y la segunda materia objetivo pueden amplificarse. Tenga en cuenta que, en este caso, los valores de fuerza son para longitudes de onda muy por debajo de la resonancia.

A medida que el combustible 200 se calienta, la primera materia objetivo 210 se pone en estado de gas y, posteriormente, se ioniza y alcanza un estado de plasma. Además, la segunda materia objetivo 220 permanecerá en forma sólida o líquida. De hecho, en virtud de un punto de ebullición relativamente bajo de 1342 °C, el litio se puede transferir más fácilmente a un estado de plasma. Esto también sería válido para el deuterio. Por otro lado, el punto de ebullición relativamente alto de níquel de 2913 °C implica que permanecerá en forma sólida o líquida, al menos durante un período de tiempo más largo.

La unidad de electrodo de descarga 150 ioniza y calienta el gas en el cilindro de reactor 100. Los electrodos de descarga 150 en ambos extremos del cilindro de reactor 100 crean un canal de carga en el mismo, por lo que el combustible 200 en el recipiente de combustible 130 puede mantener un estado de ionización predeterminado.

Por lo tanto, se espera que el  ${}^7\text{Li}$  en la mezcla de combustible exceda su temperatura de ebullición, mejorando así la abundancia de  ${}^7\text{Li}$  gas/ion en el tubo de descarga. A la inversa,  ${}^{58}\text{Ni}$  permanecerá en forma sólida o fundida a una temperatura excesiva, convirtiéndose en el principal elemento de atracción de la fuerza en el reactor. Una razón de esto es que la primera materia objetivo 210, en este modo de realización que comprende  ${}^7\text{Li}$ , se vaporiza e ioniza y se distribuye rápidamente en el recipiente de combustible 130 debido a una alta temperatura en el mismo. Por otro lado, la segunda materia objetivo 220, comprendiendo en este modo de realización níquel, se convertirá gradualmente en el objeto más caliente en el recipiente de combustible 130 debido al proceso de captura de neutrones. De este modo, la segunda materia objetivo 220 será el atractor más fuerte en el aparato 100. Un alto punto de fusión de la segunda materia objetivo 220 contrarresta la evaporación de la segunda materia objetivo 220. Como consecuencia, la segunda materia objetivo 220 puede permanecer durante un período de tiempo más largo y, por lo tanto, puede atraer el gas y/o plasma circundantes.

Además del calentamiento, la radiación combinada inductiva y de descarga contiene un amplio espectro de armónicos, estando estos últimos cerca pero por debajo de la frecuencia de resonancia crítica.

La frecuencia de resonancia crítica cambia gradualmente bajo el proceso de calentamiento del combustible 200 hasta un estado de equilibrio donde todo el litio se ha vaporizado y/o ionizado. El estado de equilibrio puede ser un estado en el que la ionización y la recombinación están en equilibrio. El estado de equilibrio puede determinarse por una frecuencia de recombinación.

A medida que la temperatura del combustible 200 aumenta, la contracción del núcleo de fuerza de gradiente del combustible 200 y la atracción de las partículas ambientales aumentan. Una vez que el combustible 200 alcanza las energías de fisión/espalación para la primera materia objetivo 210, la primera materia objetivo 210 libera neutrones y experimenta un cambio isotópico de  ${}^7\text{Li}$  a  ${}^6\text{Li}$ .

Los neutrones liberados se capturan por la segunda materia objetivo 220 que sufre al menos una conmutación isotópica. Además, la energía de salida de radiación EM se libera cuando se captura un neutrón. Por ejemplo,  ${}^{58}\text{Ni}$  en la segunda materia objetivo 220 puede cambiar al isótopo  ${}^{60}\text{Ni}$  al capturar dos neutrones o al isótopo  ${}^{62}\text{Ni}$  al capturar cuatro neutrones.

Si la potencia de salida producida por el aparato 100 es mayor que un valor de umbral de potencia (Recuadro 340), el aparato 100 puede entrar en un modo de mantenimiento (Recuadro 350). El modo de mantenimiento se explica a continuación con referencia a la Fig. 4.

5 Si la potencia de salida producida por el aparato 100 es más pequeña que el valor del umbral de potencia (Recuadro 340), el combustible 200 se irradia más con radiación EM (Recuadro 320) y se proporciona calor adicional (Recuadro 330). La irradiación y el calentamiento por la disposición de la bobina de inducción 120 y la unidad de electrodo de descarga 150 continúan hasta que la potencia de salida de radiación EM producida por medio de la captura de neutrones es mayor que el valor del umbral de potencia.

10 De acuerdo con el presente modo de realización, el aparato 100 entra en el modo de mantenimiento (Recuadro 400) cuando la potencia de salida de radiación EM producida por el aparato 100 está por encima del valor umbral de potencia.

15 Primero, el funcionamiento de la disposición de bobina de inducción 120 se desactiva (Recuadro 410). El apagado se realiza de forma gradual. De este modo, se termina la irradiación y el calentamiento proporcionados desde la disposición de bobina de inducción 120 al combustible 200, y en particular a la primera materia objetivo 210.

20 Entonces, la primera materia objetivo 210 se expone a energía de mantenimiento de radiación EM (Recuadro 420). De acuerdo con el presente modo de realización, la energía de mantenimiento de radiación EM se proporciona únicamente desde la unidad de electrodo de descarga 150. De este modo, el proceso de espalación, es decir, las liberaciones de neutrones, de la primera materia objetivo 210 puede mantenerse usando menos potencia de entrada. La energía de mantenimiento de radiación EM comprende preferentemente un modo de frecuencia de resonancia que tiene una frecuencia que está cerca pero por debajo de la frecuencia de resonancia crítica. Adicionalmente, el proceso de espalación puede controlarse mejor ya que la unidad de electrodo de descarga 150 puede controlarse mejor en comparación con la disposición de bobina de inducción 120. De hecho, la unidad de electrodo de descarga 150 puede proporcionar frecuencias más precisas. En particular, el control mejorado de la unidad de electrodo de descarga 150 implica que la salida de potencia pueda controlarse mejor.

Este estado del aparato 100 puede denominarse estado casi estable, QSS, ya que se necesita menos potencia de entrada para mantener el proceso de captura de neutrones y, por lo tanto, la generación de energía. De hecho, una pequeña potencia de entrada puede dar lugar a una gran ganancia de potencia.

35 Durante el funcionamiento del aparato 100, o equivalentemente el reactor, en particular durante el estado casi estable, la potencia neta generada dentro del aparato 100 se equilibra por una pérdida por radiación del aparato 100, es decir, una potencia emitida desde la superficie del aparato 100, tal como desde la cámara 110. La potencia emitida desde la superficie se puede usar para hacer funcionar un dispositivo, como se explicará más adelante.

El calentamiento externo de  ${}^7\text{Li}$  y  ${}^{58}\text{Ni}$ , en el mejor de los casos, establecerá la espalación de neutrones en la primera materia objetivo 210 y la captura de neutrones en la segunda materia objetivo 220 hasta un nivel teórico de QSS. Para el propósito de la ilustración, y basada en el problema clásico del intercambio de calor, una función

45

$$P(t) = P_0(1 - \exp(-t/t_0))$$

se puede usar para describir un crecimiento de potencia generado por el aparato combinado 100. Aquí,  $P_0$  es la potencia QSS, es decir,  $P_{\text{reactor}} = P_{\text{emitida}} = P_0$ . Obsérvese que este es un QSS idealizado. En realidad, el proceso puede cambiar con el tiempo, por ejemplo, implicando la captura de neutrones por otros elementos, o la "degradación" gradual del isótopo primario con el tiempo, por ejemplo,  ${}^{58}\text{Ni}$  a  ${}^{60}\text{Ni}$  a  ${}^{62}\text{Ni}$ . Este último ilustra que los procesos internos impulsan el QSS en gran medida. El calentamiento interno por captura de neutrones puede mejorar la tasa de espalación en la primera materia objetivo 210 y la tasa de captura de neutrones en la segunda materia objetivo 220, lo que lleva a tasas de ganancia de potencia superiores a las posibles por calentamiento externo. Eventualmente, el calentamiento interno puede convertirse en el principal factor de ganancia en el proceso en el aparato 100. De este modo, la relación de ganancia, definida como la potencia de salida dividida por la potencia de entrada, puede ampliarse por un factor importante. En un ejemplo no limitativo, este factor puede estar entre 3 o 20, o entre 5 y 10. Como consecuencia de lo anterior, se puede obtener un nuevo QSS.

60 En vista de lo anterior, un tema importante es proporcionar un diseño adecuado del reactor y el material usado para conservar y/o para soportar la temperatura de la pared del reactor.

Por tanto, el proceso de espalación puede volverse autosostenido por el calentamiento interno por medio de la captura de neutrones y, además, una entrada menor de energía de onda resonante de la unidad de electrodo de

descarga 150. Esto puede llevar a un proceso de reacción eficiente que requiera solo una pequeña entrada de energía.

Opcionalmente, el aparato 100 comprende además un dispositivo de bloqueo (no mostrado) que está dispuesto para terminar la producción de neutrones una vez que el aparato 100 ha alcanzado el estado casi estable. Por medio del dispositivo de bloqueo, la generación de energía puede terminarse o moderarse reduciendo la tasa de producción de neutrones. La generación de energía puede moderarse cuando la potencia de salida sea mayor que la deseada. El dispositivo de bloqueo puede estar dispuesto cerca del centro del recipiente de combustible 130. El dispositivo de bloqueo puede comprender un material absorbente de neutrones que puede insertarse en el recipiente de combustible 130 para bloquear los neutrones que se han liberado de la primera materia objetivo 210. En ejemplos no limitativos, el material absorbente de neutrones puede ser xenón-135 o samario-149.

La generación de energía descrita anteriormente puede continuar hasta que una parte fija del combustible 200 se haya convertido en combustible usado o hasta que la potencia de salida disminuya por debajo de una potencia de salida más baja. Por combustible usado se entiende aquí que la primera materia objetivo, que inicialmente comprende  ${}^7\text{Li}$  se ha convertido en el isótopo  ${}^6\text{Li}$ , y/o que la segunda materia objetivo, que inicialmente comprende  ${}^{58}\text{Ni}$  se ha convertido en otros isótopos de níquel, tales como  ${}^{58}\text{Ni}$  o  ${}^{62}\text{Ni}$ .

Una vez que el combustible inicial 200 se ha convertido en combustible usado, el aparato 100 puede cargarse con combustible nuevo 200. Opcionalmente, la carga de combustible nuevo se puede proporcionar a intervalos de tiempo regulares, antes de que el combustible inicial 200 se haya agotado. De acuerdo con un modo de realización alternativo, el deuterio en forma líquida o en forma de gas puede inyectarse continuamente.

El aparato 100 como se describió anteriormente puede estar comprendido en una planta de energía (no mostrada) para la generación de electricidad. La planta de energía puede comprender el aparato 100, una turbina de vapor y un equipo adicional para generar electricidad que son conocidos por un experto en la técnica. La electricidad puede generarse utilizando la potencia de salida del aparato 100.

En particular, el procedimiento descrito anteriormente puede formar parte de un procedimiento para generar electricidad en una planta de energía. El último procedimiento puede comprender pasos adicionales para generar la electricidad.

Se entiende que la potencia de salida del aparato 100 se puede usar para hacer funcionar diversos tipos de dispositivos. En ejemplos no limitativos, el dispositivo puede ser un motor Stirling, un motor de vapor, etc. Puede haber un intercambiador de calor provisto entre el aparato 100 y el dispositivo.

Adicionalmente, dos o más aparatos 100 pueden proporcionarse en serie o en paralelo para proporcionar más potencia de salida.

La Fig. 5 es una simulación de potencia en función del tiempo de un dispositivo de  ${}^7\text{Li}$  y  ${}^{58}\text{Ni}$  que muestra las diferentes fases operativas (A)-(D). (A) Fase inicial de gasificación e ionización de la primera materia objetivo. (B) Fase de transición que conduce a la primera fase casi estable. (C) Fase que combina un apagado gradual del calentador externo con retroalimentación de temperatura de las emisiones de ondas EM externas cerca de la resonancia. (D) La fase de onda EM externa de retroalimentación de temperatura funciona en el segundo nivel de estado casi estable, caracterizada por una ganancia de potencia aumentada por un factor de 10-50. (1) Potencia de gasificación/ionización. (2) Potencia de entrada de la bobina inductiva. (3) Potencia de onda de mantenimiento para adquirir el segundo nivel de estado casi estable. (4) Potencia del reactor generada. (5) Exceso de potencia (espalación inducida por fusión).

La Fig. 6 es una simulación de potencia en función del tiempo de un dispositivo D y  ${}^{58}\text{Ni}$  que muestra las fases de respuesta como en la Fig. 5. Obsérvese que el dispositivo D -  ${}^{58}\text{Ni}$  es genéricamente tres veces más eficiente que el dispositivo  ${}^7\text{Li}$  -  ${}^{58}\text{Ni}$ , capaz de funcionar con una entrada de potencia de onda y de onda externa más baja.

La invención se ha descrito principalmente anteriormente con referencia a algunos modos de realización. Sin embargo, como apreciarán fácilmente los expertos en la materia, otros modos de realización distintos de los descritos anteriormente son igualmente posibles dentro del alcance de la invención, tal como se define en las reivindicaciones de patente adjuntas. En particular, las elecciones particulares de la primera y la segunda materia objetivo no deben verse como limitativas, sino que solo representan ejemplos de materias objetivo. Por ejemplo, la primera materia objetivo puede comprender deuterio, o una mezcla de  ${}^7\text{Li}$  y deuterio, y la segunda materia objetivo puede comprender  ${}^{40}\text{Ca}$ ,  ${}^{46}\text{Ti}$ ,  ${}^{52}\text{Cr}$ ,  ${}^{64}\text{Zn}$ ,  ${}^{58}\text{Ni}$ ,  ${}^{70}\text{Ge}$  o  ${}^{74}\text{Se}$ , o una mezcla de dos o más de estos isótopos. Un modo de realización adicional comprende proporcionar una tercera materia objetivo que comprende un material catalizador.



**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento para su uso en la generación de energía que comprende:

5 proporcionar un combustible (200) en un recipiente de combustible (130), comprendiendo dicho combustible (200) una primera materia objetivo (210) y una segunda materia objetivo (220), llevando dicha primera materia objetivo (210) a través de la resonancia de onda a un estado de energía superior al exponer la primera materia objetivo a la energía de entrada de radiación electromagnética para producir un primer cambio isotópico en la primera materia objetivo y resultando los neutrones del primer cambio isotópico, en el que la energía de entrada de radiación electromagnética se proporciona en forma de una señal de onda cuadrada o de una señal de onda sinusal,

10 capturar los neutrones mediante dicha segunda materia objetivo (220) para producir un segundo cambio isotópico en la segunda materia objetivo y la energía de salida de radiación electromagnética,

15 en el que, con la condición de que la potencia de salida de radiación electromagnética se produzca por encima de un valor de umbral de potencia, se mantiene la producción de energía de salida de radiación electromagnética exponiendo la primera materia objetivo (210) a la energía de mantenimiento de radiación electromagnética.

20 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la energía de entrada de radiación electromagnética se obtiene mediante radiación electromagnética que comprende al menos un modo de frecuencia de resonancia comprendido en un intervalo de frecuencia.

25 3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, en el que al menos un modo de frecuencia de resonancia está asociado con una distancia interatómica de la primera materia objetivo.

30 4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2 o 3, en el que al menos un modo de frecuencia de resonancia es un modo de frecuencia de resonancia de gas o plasma de la primera materia objetivo, una resonancia de plasma que caracteriza plasmas magnetizados y/o no magnetizados de la primera materia objetivo, o un modo de frecuencia de resonancia de sólido/fluido/gaseoso/plasma de la segunda materia objetivo.

35 5. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además calentar al menos una de la primera materia objetivo y de la segunda materia objetivo.

40 6. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en el que la energía de mantenimiento de la radiación electromagnética proviene de una radiación electromagnética que comprende al menos un modo de frecuencia de resonancia comprendido en un intervalo de frecuencia.

7. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en el que la energía de mantenimiento de radiación electromagnética se proporciona por medio de una fuente de onda.

45 8. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende además proporcionar una tercera materia objetivo que comprende un material catalizador.

9. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-8, que comprende además llevar la primera materia objetivo a un estado de plasma.

50 10. Un aparato para la generación de energía que comprende:

una unidad fuente para producir energía de entrada de radiación electromagnética,

una primera materia objetivo (210),

una segunda materia objetivo (220), y

55 un recipiente de combustible (130) para contener la primera materia objetivo y la segunda materia objetivo,

en el que la unidad fuente está dispuesta para exponer la primera materia objetivo a la energía de entrada de radiación electromagnética para llevar la primera materia objetivo a través de la resonancia de onda a un estado de energía superior, para producir un primer cambio isotópico en la primera materia objetivo y neutrones resultantes del primer cambio isotópico, y para capturar los neutrones por la segunda materia objetivo para producir un segundo cambio isotópico en la segunda materia objetivo y la energía de salida de radiación electromagnética.

60

11. Aparato de acuerdo con la reivindicación 10, en el que el recipiente de combustible (130) es una cámara de presión.
- 5 12. Aparato de acuerdo con la reivindicación 10 u 11, en el que la primera materia objetivo y la segunda materia objetivo se mezclan.
- 10 13. Aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10-12, en el que la unidad fuente comprende una disposición de bobina de inducción (120).
14. Aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10-13, que comprende además una unidad de electrodo de descarga (150).

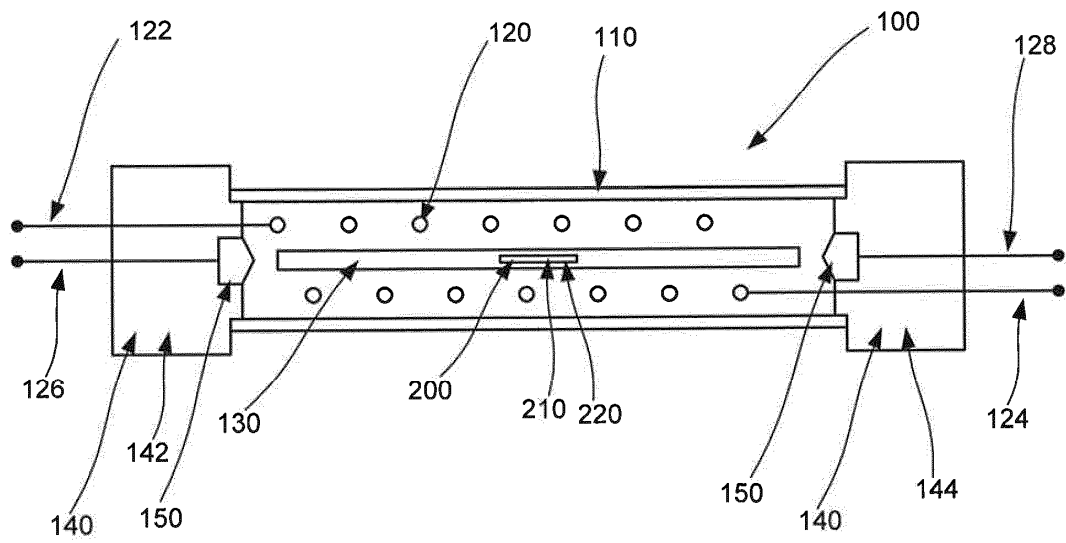
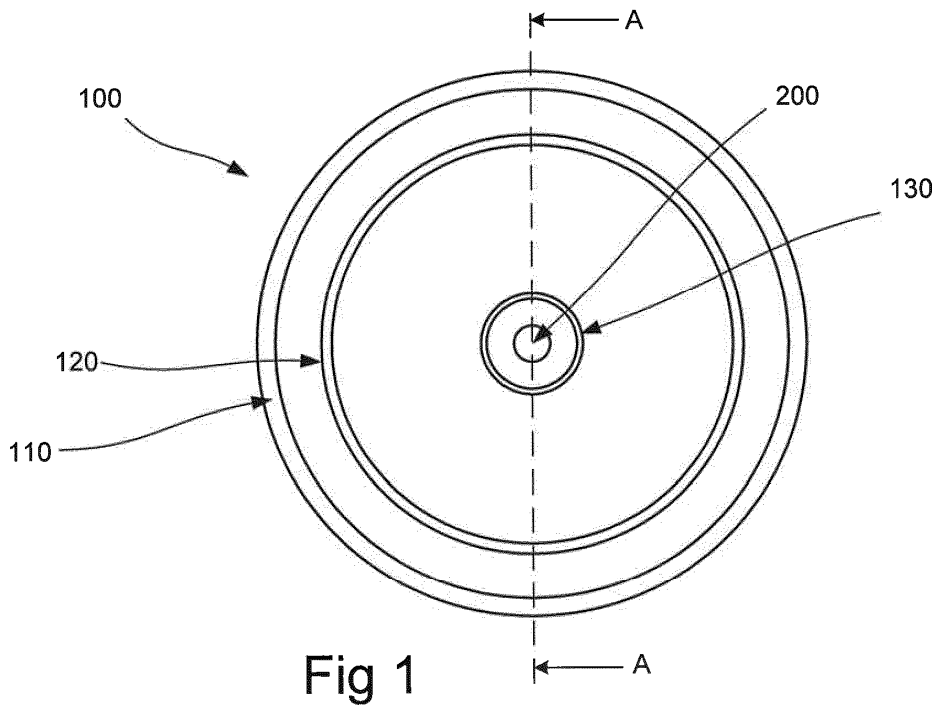


Fig 2

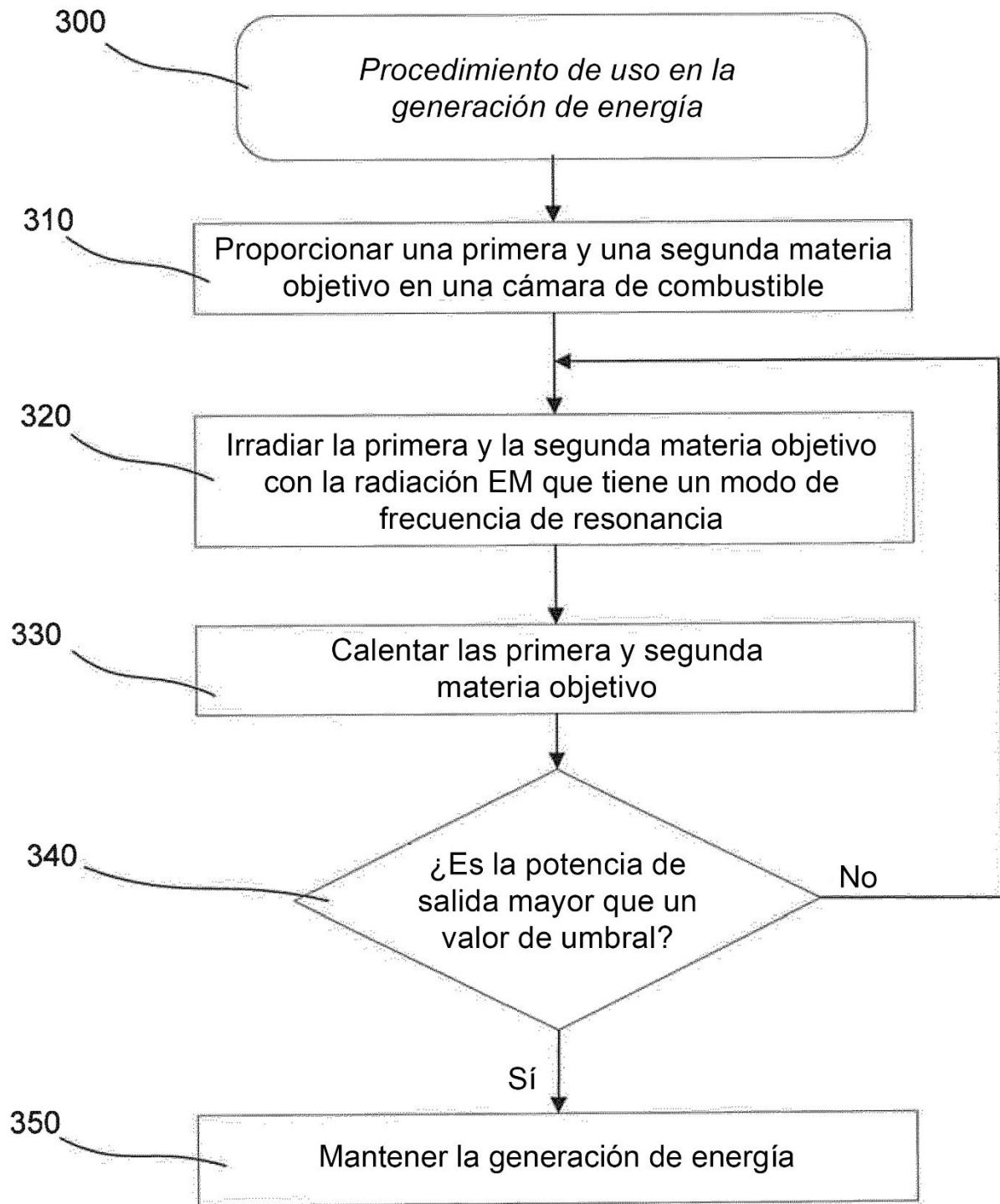


Fig 3

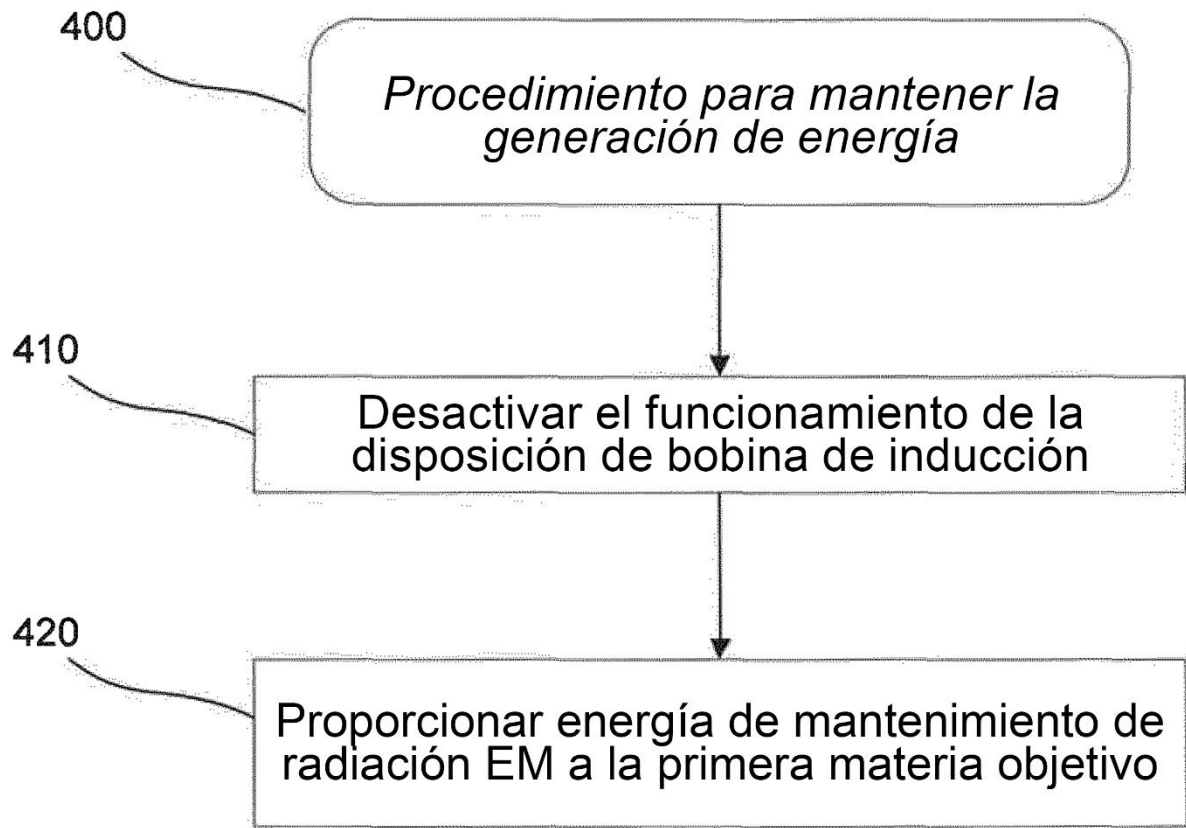


Fig 4

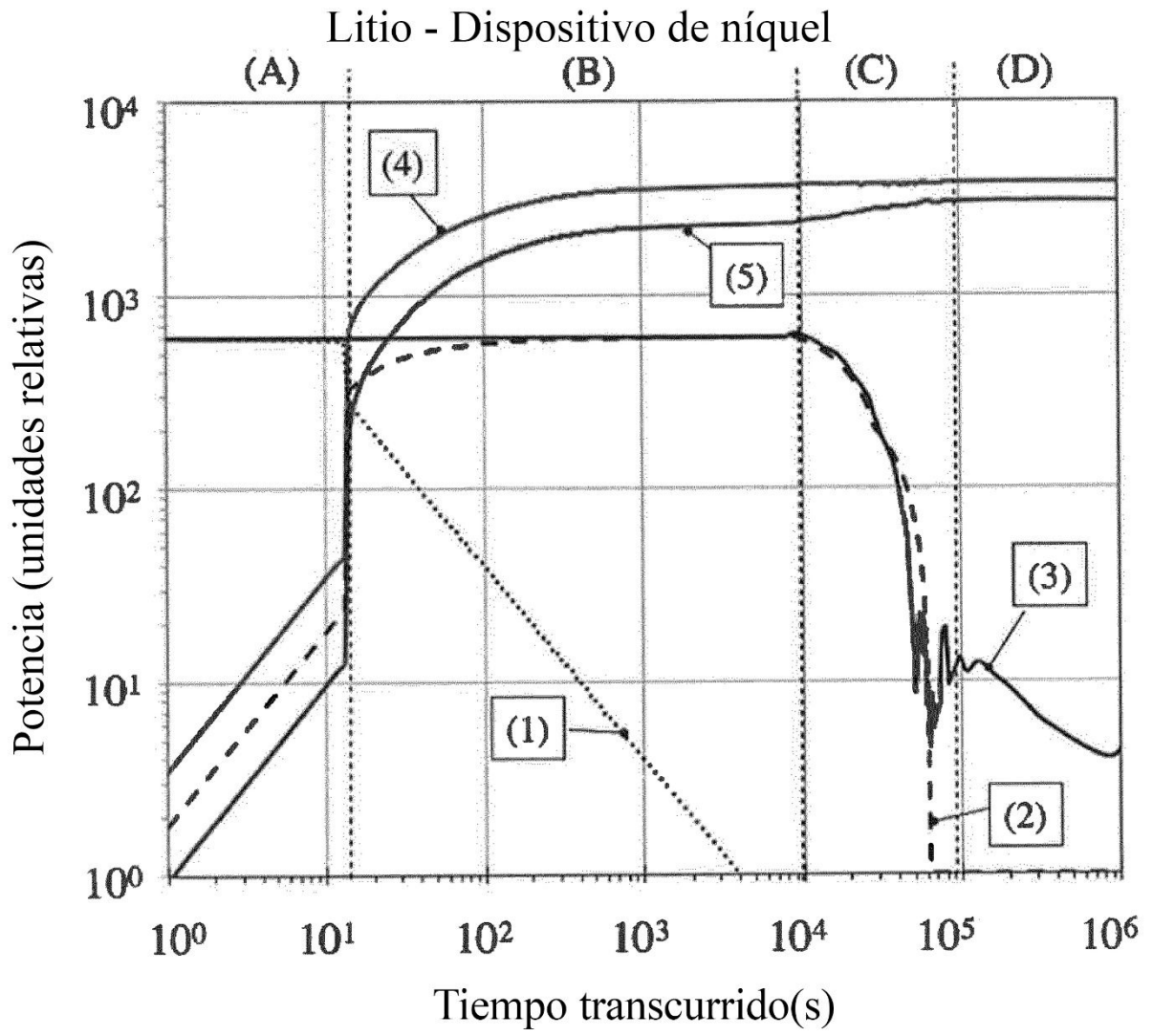


Fig 5

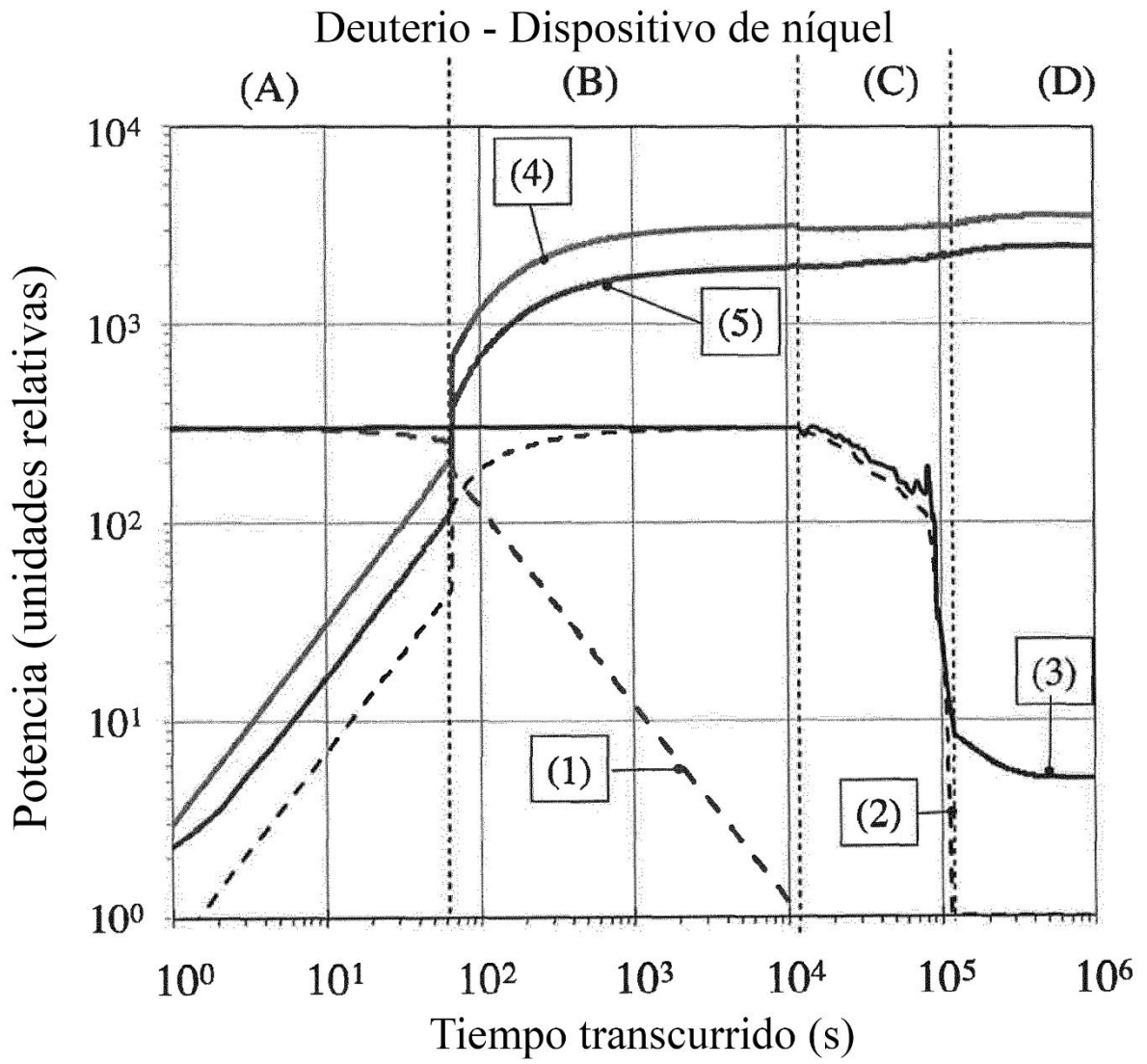


Fig 6