

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 668 884**

51 Int. Cl.:

**G21G 4/02** (2006.01)

**G21C 17/10** (2006.01)

**G21C 3/326** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.09.2011 PCT/US2011/053196**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.04.2012 WO12047568**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.09.2011 E 11831234 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.03.2018 EP 2625696**

54 Título: **Conjunto multiplicador de fuentes de neutrones primarias**

30 Prioridad:

**07.10.2010 US 899596**

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

**22.05.2018**

73 Titular/es:

**WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC  
(100.0%)**

**1000 Westinghouse Drive  
Cranberry Township, Pennsylvania 16066, US**

72 Inventor/es:

**STUCKER, DAVID L.**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 668 884 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

Conjunto multiplicador de fuentes de neutrones primarias

**Antecedentes de la invención****1. Campo de la invención**

5 La presente invención proporciona los medios y el mecanismo por el cual producir una fuente constante de neutrones de alta energía que, además de la multiplicación y la transformación eficiente de la energía radiactiva del isótopo conductor primario, también se puede cambiar a fuerza a través de simples ajustes en el diseño físico del conjunto multiplicador. La fuente de neutrones resultante tiene muchos usos prácticos que incluyen, pero no se limitan a: fuente de arranque para un reactor nuclear, prueba no destructiva de materiales, análisis de activación  
10 de neutrones, análisis de humedad de muestra, registro de pozo de petróleo, tratamiento médico del cáncer, detección de explosivos, detección de fatiga de metales y otras evaluaciones en tiempo real de la composición química y el contenido de humedad de las corrientes de proceso, como la optimización de la combustión en plantas de energía eléctrica y hornos de cemento.

**2. Descripción de la técnica relacionada**

15 Generalmente se requieren múltiples fuentes de neutrones (emisores) para poner en marcha de forma segura un núcleo de reactor nuclear. Las fuentes de puesta en marcha del reactor usadas para este propósito se conocen como "fuentes primarias" y "fuentes secundarias". Las fuentes primarias son fuentes independientes de neutrones que proporcionan neutrones sin la necesidad de energía externa o irradiación del reactor en sí. Las fuentes secundarias de puesta en marcha de reactores se fabrican universalmente con materiales conductores inicialmente  
20 no radiactivos mezclados uniformemente con berilio. El material del controlador de fuente secundaria (generalmente antimonio) no es radiactivo para la fabricación. Como resultado, la fuente secundaria no produce una fuente de neutrones hasta que el material conductor se irradia en un reactor nuclear. La fuente secundaria produce neutrones como resultado de la interacción de la radiación gamma de alta energía a partir de la desintegración radiactiva del material del conductor con el berilio. Típico de los artefactos de fuentes primarias de la técnica actual, todos usados en combinación con berilio, son isótopos fuertes emisores de partículas alfa de polonio, radio, plutonio, americio o curio. El único material que es una fuente primaria práctica para aplicaciones comerciales sin el uso de berilio mezclado es californio-252 o <sup>252</sup>Cf.

Las descripciones de la producción de radioisótopos de "fuente secundaria" dentro de reactores nucleares se describen en general por *Ransohoff et al.* y *Bodnarescu* (Patente de los Estados Unidos n.º 3.269.915 y 3.396.077, respectivamente). Una descripción del uso de "fuentes primarias" y el uso general de fuentes de neutrones se describe, en detalle, por *Impink, Jr.* (Patente de Estados Unidos n.º 4.208.247 publicada en junio de 1980, de aquí en adelante "*Impink*" ), donde, preferiblemente, el plutonio 238 y el berilio se encapsulan en una aleación que no permite la transmisión de neutrones térmicos, es decir, esencialmente "negros" a los neutrones térmicos, tales como cadmio puro; 65 % de plata/cadmio u 80 % de plata/15 % de indio/cadmio.

35 Una fuente de neutrones de puesta en marcha del reactor se utiliza para ayudar de forma segura el inicio de la reacción nuclear en cadena en la carga del núcleo inicial de los reactores nucleares. Se requiere una fuente de arranque de reactor para el arranque seguro de un núcleo inicial que contenga solo combustible nuclear nuevo no irradiado porque la densidad de población de neutrones de todas las fuentes (*por ejemplo*, fisión espontánea del combustible, radiación cósmica, fotoneutrones de deuterio) es insuficiente para un monitoreo confiable del reactor población de neutrones para asegurar la puesta en marcha segura del reactor. Los flujos de neutrones bajos ocurren en reactores nucleares con núcleos iniciales con solo combustible levemente radiactivo o después de períodos de parada prolongados en los que el combustible irradiado se ha deteriorado, reduciendo así la fuente de neutrones inherente del reactor de los mecanismos mencionados anteriormente. Las fuentes de neutrones de arranque primario y secundario de reactor fijo proporcionan una población de neutrones en el núcleo del reactor que es suficiente para que la instrumentación de la planta mida confiablemente y proporcione información del reactor y de reactividad al operador del reactor para permitir un arranque seguro del reactor y también sistema de protección para anular al operador y detener el arranque del reactor si se detecta una situación insegura. Sin fuentes de neutrones de puesta en marcha del reactor, el reactor podría sufrir una rápida excursión de potencia durante el arranque antes de que el sistema de protección del reactor pudiera intervenir para terminar la puesta en  
45 marcha. Las fuentes de arranque típicamente se insertan en posiciones regularmente espaciadas dentro del núcleo del reactor, ya sea en lugar de algunas de las barras de combustible o dentro de las estructuras dentro del núcleo del reactor.

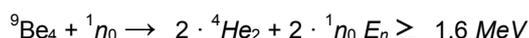
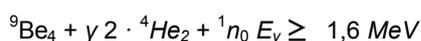
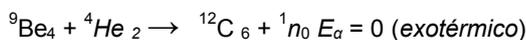
Además de la puesta en marcha de los reactores nucleares, las fuentes de neutrones tienen muchos usos en otras aplicaciones industriales. Estos usos industriales para fuentes de neutrones implican típicamente el uso de la fuente de neutrones para crear radioisótopos en las proximidades de la fuente, después de lo cual se miden las  
55

características únicas de desintegración nuclear de los radioisótopos creados en el proceso que se evalúa y las concentraciones o composiciones son inferido de las mediciones en un proceso típicamente referido en la técnica como análisis de activación de neutrones. Las aplicaciones industriales resultantes incluyen, pero no se limitan a: pruebas no destructivas de materiales, análisis de activación de neutrones, análisis de humedad de muestra, registro de pozo de petróleo, tratamiento médico del cáncer, detección de explosivos, detección de fatiga de metal y otras evaluaciones en tiempo real de sustancias químicas composición o contenido de humedad en las corrientes del proceso, como la optimización de la combustión en plantas de energía eléctrica y hornos de cemento.

*Impink* (citado anteriormente) enseña además que (en el momento de la patente), las fuentes de neutrones para reactores comerciales se han posicionado dentro del núcleo nuclear, y permanecieron dentro del núcleo, durante al menos un ciclo operativo completo. Las fuentes mantuvieron una posición fija. En los reactores, las fuentes se insertan en conjuntos de combustible seleccionados y se extienden dentro de manguitos de guía del conjunto de combustible diseñados para proporcionar estructura para el conjunto de combustible y proporcionar orientación para la inserción de elementos de control en el reactor. Las fuentes también están dispuestas en conjuntos cerca de la periferia del núcleo para posicionarse dentro del rango de detección del aparato de detección y control fuera del recipiente del reactor.

El berilio se describe en un artículo en <http://en.wikipedia.org/wiki/beryllium> (07/07/2010), como un metal alcalinotérreo de peso ligero, fuerte pero quebradizo, de color gris claro. Se utiliza principalmente en aplicaciones no nucleares como agente de endurecimiento en aleaciones, especialmente cobre de berilio. Estructuralmente, la baja densidad del berilio (1,85 veces la del agua), el alto punto de fusión (1287 °C), la estabilidad a altas temperaturas y el bajo coeficiente de expansión térmica, lo convierten en un material idóneo para altas temperaturas para aplicaciones aeroespaciales y nucleares. El uso comercial de berilio presenta dificultades técnicas debido a la toxicidad (especialmente por inhalación) de polvos que contienen berilio. El berilio produce un efecto corrosivo directo sobre los tejidos y puede causar una enfermedad alérgica crónica que pone en peligro la vida, llamada beriliosis en personas susceptibles.

En el área nuclear, berilio es un elemento extremadamente inusual en que, esencialmente todo el berilio que se produce naturalmente es del isótopo  ${}^9\text{Be}$  que tiene una energía de unión muy baja (1,69 MeV) para su último neutrón. El resultado de este peculiar aspecto de la física nuclear del berilio es que, cuando se excita con radiación más energética que la energía umbral que se muestra a continuación, el  ${}^9\text{Be}$  se desintegra como se muestra a continuación por emisión de neutrones y forma helio o átomos de carbono mucho más estables.



El californio (elemento 98) es un elemento raro y exclusivamente artificial que se sintetiza mediante la irradiación a largo plazo de otros isótopos artificiales raros tales como plutonio o curio en reactores especializados de alto flujo diseñados específicamente para producir isótopos de actínidos de alto orden. El californio (Cf) se usa exclusivamente para aplicaciones que aprovechan sus fuertes propiedades de emisión de neutrones. El isótopo  ${}^{252}\text{Cf}$  es, por mucho, el isótopo más utilizado del californio para fuentes de neutrones debido a su alta potencia fuente, rendimiento de producción y vida media relativamente larga. Actualmente, solo hay dos instalaciones en el mundo que actualmente sintetizan y separan  ${}^{252}\text{Cf}$ . En este momento, ~ 90 % de la producción anual mundial de ~ 200 miligramos se producen en el Reactor de Isótopos de Flujo Alto de cincuenta años de antigüedad en el Laboratorio Nacional Oak Ridge en Tennessee. El  ${}^{252}\text{Cf}$  producido en el reactor se purifica inicialmente en el sitio del reactor separando el  ${}^{252}\text{Cf}$  de todos los otros actínidos y productos de fisión que resultan de la irradiación objetivo en un complejo proceso radioquímico que se realiza a distancia en un laboratorio de células calientes. El proceso de separación finaliza recubriendo un material inerte, papel de aluminio u otra forma con el compuesto químico  ${}^{252}\text{Cf}$  del proceso de separación y colocando la forma resultante en un recipiente que protege el material fuente resultante de  ${}^{252}\text{Cf}$ , permitiendo así que el material sea eliminado del laboratorio de células calientes. La alta resistencia a los neutrones de  ${}^{252}\text{Cf}$  hace que sea necesario que cualquier fuente de fabricación posterior a la separación del Cf de todos los demás actínidos y productos de fisión se haga de forma remota en una instalación bien blindada para proteger al personal de fabricación. Como resultado, solo es práctico emplear procesos simples de fabricación en la fabricación de fuentes de neutrones usando  ${}^{252}\text{Cf}$ . Incluso a la vista de las patentes anteriores citadas, no parece haber ninguna razón lógica para tratar de agregar algo al californio como fuente de neutrones, ya que ya es la fuente más fuerte de neutrones en peso de cualquier radioisótopo disponible.

El documento JP S52 63 588 A divulga un conjunto multiplicador de fuente que emite un neutrón rápido que consiste esencialmente en una fuente controladora de  ${}^{252}\text{Cf}$  depositada sobre una superficie que consiste esencialmente en lámina y alambre, y encapsulada y rodeada por un revestimiento de berilio como un segmento

multiplicador.

El documento JP 2002 257 996 A divulga un conjunto multiplicador de fuente que emite neutrones rápidos que consiste esencialmente en una fuente de controlador de  $^{252}\text{Cf}$  depositada sobre una superficie que consta esencialmente de lámina y alambre, y encapsulada y rodeada por un moderador de berilio como un segmento multiplicador.

Con referencia ahora a la técnica anterior, la figura 1, se muestra una realización de un reactor nuclear térmico típico que incluye un recipiente 10 de reactor sellado que aloja un núcleo 12 nuclear compuesto por una pluralidad de conjuntos 14 de combustible (mostrados en la figura 2A). Un refrigerante del reactor, tal como uno que incluye agua, entra al recipiente a través de las boquillas 16 de entrada, pasa hacia abajo en una región anular entre el recipiente y una estructura de soporte del núcleo, gira y fluye hacia arriba a través de una placa 20 perforada y a través del núcleo 12 y se descarga a través de boquillas 22 de salida.

Un conjunto 14 de combustible se muestra en la figura 2A de la técnica anterior e incluye una pluralidad de pasadores 24 de combustible, que contienen gránulos 26 de combustible nuclear, dispuestos en un haz. El conjunto también incluye una pluralidad de manguitos 28 guía que proporcionan soporte esquelético para el conjunto y que están dimensionados para recibir de manera extraíble varillas 29 de control de elementos 30 de control, posicionables por encima y dentro del área del núcleo por medios tales como electroimanes 32 que actúan sobre árboles 34 (figura 1) conectado de manera extraíble a los elementos 30 de control.

El flujo de neutrones dentro del núcleo se controla continuamente por el aparato de detección tal como los detectores 36 de neutrones (figura 1) que se encuentran en una elevación alineada con la elevación del núcleo 12. Los detectores, situados en el exterior del recipiente, pueden estar fijos o desplazarse lateralmente mediante barras 38 de posicionamiento.

Los manguitos 28 guía de los conjuntos de combustible 14, además de recibir las varillas 29 de control, que se muestran en la figura 2A, están dimensionados para recibir cápsulas de fuentes de neutrones mostradas en la figura 2B. Las cápsulas contienen una fuente 44 de emisión de neutrones.

La fuente 44 incluye una masa importante de material emisor de neutrones rápidos, encapsulados y mantenidos en su lugar por el revestimiento 48. El material de origen preferido para las fuentes de arranque de reactores de arte actuales es  $^{252}\text{Cf}$  debido a una combinación de factores que incluyen la potencia de la fuente. No obstante, el material original de  $^{252}\text{Cf}$  es extremadamente costoso y solo está disponible en cantidades limitadas, por lo que es muy importante minimizar los requisitos de estos materiales. La solución óptima para una fuente primaria es aquella que minimiza la cantidad de  $^{252}\text{Cf}$  requeridos para lograr la función requerida. Además, la vida útil de una fuente de neutrones está determinada por la potencia mínima de la fuente que logra la función requerida. Por lo tanto, uno de los objetivos principales de esta invención es hacer un uso más eficiente del  $^{252}\text{Cf}$  para reducir la cantidad de  $^{252}\text{Cf}$  requerida para una fuente o extender la vida útil de una cantidad dada de  $^{252}\text{Cf}$ .

### **Sumario de la invención**

Los problemas anteriores se resuelven y los objetos se reunieron mediante la combinación de una fuente del controlador  $^{252}\text{Cf}$  y un conjunto de berilio multiplicador de manera que la gran mayoría de la energía de la desintegración radiactiva de la fuente de conductor  $^{252}\text{Cf}$  puede ser transformada en neutrones por el multiplicador berilio ("conjunto multiplicador") y los neutrones resultantes pueden multiplicarse por la reacción de berilio ( $n, 2n$ ). La invención implica un conjunto multiplicador de fuente que emite neutrones rápidos, que consiste esencialmente en una fuente de controlador de  $^{252}\text{Cf}$  depositada sobre una superficie que consiste esencialmente de papel de aluminio y alambre, y encapsulada y rodeada por un segmento de berilio como un segmento multiplicador. Los diseños de fuente primaria de arte actuales utilizan solo el 3,1 % de los eventos de decaimiento de  $^{252}\text{Cf}$  que son eventos de fisión espontáneos. El resto de los eventos de desintegración son desintegraciones alfa de alta energía cuya energía está completamente protegida por el revestimiento fuente (48) que rodea la fuente de  $^{252}\text{Cf}$  (44) como se muestra en la figura 3 de la técnica anterior. 2B. La realización preferida de la fuente del controlador de la invención es un alambre o lámina revestido de  $^{252}\text{Cf}$  incrustada en un rebaje dentro de un multiplicador de berilio mecanizado simple. Preferiblemente, el berilio estará en dos partes como se muestra en las figuras 3A y 3B para facilitar la inserción de la fuente del controlador 68. Las dimensiones del multiplicador de berilio son solo críticas en la medida en que la energía de las partículas alfa y los productos de fisión espontáneos se captura dentro del multiplicador de berilio. Debido a la naturaleza masiva y cargada de estas partículas, la cantidad de berilio necesaria para absorber la energía es mucho menor que la necesaria para formar un contenedor estructuralmente adecuado para el ensamblaje de la fuente del controlador. La captura de la energía del decaimiento  $^{252}\text{Cf}$  alfa y la fisión espontánea da como resultado un aumento de aproximadamente nueve veces en la intensidad de la fuente de neutrones por unidad de masa de material conductor de  $^{252}\text{Cf}$  en relación con las fuentes primarias  $^{252}\text{Cf}$  de la técnica actual. La potencia de la fuente de neutrones de la invención también se puede modular mediante la

inclusión de una cortina de blindaje que se puede imponer entre la fuente del controlador de  $^{252}\text{Cf}$  y el multiplicador de berilio. Esta cortina de blindaje es capaz de detener partículas alfa e interfiere con la transmisión de partículas alfa al multiplicador de berilio.

5 El aumento de la masa del conjunto multiplicador aumentará aún más la resistencia de la fuente de neutrones al aumentar la reacción de berilio ( $n, 2n$ ) resultante del neutrón producido directamente desde el  $^{252}\text{Cf}$  por fisión espontánea, así como los producidos en el berilio como un resultado de las interacciones con las partículas alfa de alta energía y los productos de fisión resultantes de la descomposición de  $^{252}\text{Cf}$ . La realización preferida encapsula el conjunto multiplicador dentro de una cápsula fuente sellada herméticamente que incluye un medio para mantener unido el conjunto multiplicador, preferentemente un muelle y un volumen vacío para proporcionar espacio para recoger el gas de helio que evoluciona de la reacción de desintegración de berilio sin sobrecargar la fuente cápsula. En el multiplicador de esta invención, los neutrones producidos directamente por el  $^{252}\text{Cf}$  y los producidos por la transformación de productos de alfa y la fisión por el conjunto multiplicador de berilio se multiplican por reacciones de berilio ( $n, 2n$ ) antes de que se emitan desde el conjunto fuente.

10 La principal innovación de esta invención es la combinación de  $^{252}\text{Cf}$ , que ya es una fuente de neutrones fuerte, con el multiplicador de berilio heterogéneo para completar la transformación de la energía radiactiva  $^{252}\text{Cf}$  en neutrones. La fabricación de esta invención requiere que la fuente del controlador  $^{252}\text{Cf}$  se inserte en el conjunto multiplicador antes de cualquier encapsulación estructural. Además, requiere el mecanizado y la fabricación de óxidos metálicos de berilio o berilio. Finalmente, toda la fabricación debe realizarse de forma remota en presencia de una fuente de neutrones intensa.

20 El  $^{252}\text{Cf}$  y Be en conjunto proporcionan una sinergia, lo que permite la reducción de peso de  $^{252}\text{Cf}$  de aproximadamente 260 microgramos a aproximadamente 30 microgramos, por conjunto multiplicador, un  $8^+$ x reducción debido al berilio multiplicación de excitación de neutrones.

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

25 Las ventajas, la naturaleza y las características adicionales de esta invención se comprenderán mejor a partir de la siguiente descripción, tomada en conexión con los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es una vista en alzado de la técnica anterior, parcialmente en sección, a través del recipiente del reactor de una realización de un reactor nuclear típico;  
 La figura 2A es una vista en perspectiva de la técnica anterior de un conjunto de combustible que tiene un elemento de control insertado en el mismo;  
 30 La figura 2B es una inserción de fuente de neutrones de la técnica anterior en un conjunto de combustible;  
 La figura 3A es una vista en sección transversal de la cápsula de fuente de neutrones de esta invención, dispuesta en un tubo de manguito de reactor;  
 La figura 3B, que ilustra mejor la realización más amplia de esta invención como una fuente de arranque de reactor, es una vista tridimensional de la fuente de neutrones que muestra los componentes de  $^{252}\text{Cf}$ , alambre y berilio.

#### **Descripción de las realizaciones preferidas**

En esta invención, una cantidad principal de berilio se utilizarán para revestir/rodear/encapsular una cantidad menor de  $^{252}\text{Cf}$ , como se muestra en la figura 3A discutida a continuación. Solo se usan  $^{252}\text{Cf}$  y Be en el conjunto multiplicador de esta invención. El conjunto multiplicador consta de  $^{252}\text{Cf}$  revestidos en alambre o lámina y Be. La realización preferida de la invención descrita en este documento utiliza todos los diferentes tipos de radiación del  $^{252}\text{Cf}$ , de modo que se transforman eficientemente en neutrones. Aunque el  $^{252}\text{Cf}$  es una fuente de neutrones muy fuerte, los neutrones se producen directamente como resultado del 3,1 % de las desintegraciones que son fisión espontánea con un promedio de 3,77 neutrones emitidos por fisión. Las fuentes de neutrones de  $^{252}\text{Cf}$  de la técnica actual hacen que el 96,9 % restante de la energía radiactiva de  $^{252}\text{Cf}$  como partículas alfa sea inútil al disipar la energía de esta energía en forma de calor en la vaina de acero inoxidable con diseño de fuente estándar.

La forma de realización preferida no utiliza una funda de fuente, que es también un protector extremadamente eficaz para la energía de los productos de partículas alfa y la fisión, sino más bien utiliza un alambre desnudo, típicamente de paladio, en la que  $^{252}\text{Cf}$  se ha depositado después de la separación de los diversos productos de irradiación del reactor. En lugar de encapsular el alambre en un protector, se encapsula en un simple conjunto multiplicador de berilio que luego se ilumina directamente con las partículas alfa, productos de fisión, gammas de fisión inmediata y neutrones de alta energía que resultan de la descomposición de  $^{252}\text{Cf}$ . Como resultado, la potencia de la fuente de neutrones del alambre revestido desnudo  $^{252}\text{Cf}$  se multiplica por aproximadamente un factor de ocho a diez, resultando en una fuente significativamente más fuerte o más duradera por la misma cantidad de  $^{252}\text{Cf}$  o una reducción de nueve veces en la cantidad de  $^{252}\text{Cf}$  requerida para una fuerza de fuente constante. Los cálculos han demostrado que la fuente primaria típica de arranque del reactor de 600 MBq con la

fuelle de la técnica actual sin multiplicar requiere casi 260  $\mu\text{g}$  de  $^{252}\text{Cf}$  mientras que la fuente multiplicada requiere solo 29  $\mu\text{g}$ .

5 Con referencia ahora a la figura 3A, se muestra una cápsula 60 fuente primaria que incluye la fuente accionadora de  $^{252}\text{Cf}$ , mostrada como 68 revestida sobre un alambre 69 de sustrato, y un segmento 64 de encapsulado/envolvente/de berilio, para proporcionar el conjunto multiplicador 62. Este conjunto multiplicador 62 se ilustra mejor en la figura 3B. El conjunto multiplicador 62 puede tener una amplia variedad de usos en plantas de energía nuclear, extracción de pozos petrolíferos y en otros lugares.

10 Aquí, el conjunto de multiplicador 62 que consiste en  $^{252}\text{Cf}$  se muestra como 68, revestido sobre un sustrato/superficie 69, rodeado de Be, mostrado como 64, se puede insertar o estar contenido/encerrado por un tubo/barra 70 hueco circundante. Los extremos de la cápsula de fuente primaria pueden sellarse mediante el tapón 84 de extremo superior y el tapón 84' de extremo inferior, con un elemento de posicionamiento, más simplemente un muelle 78 que mantiene el conjunto de multiplicador 62 contenido/encapsulado en su lugar cerca o al lado del tapón 84' de extremo inferior. El volumen vacío dentro de las cápsulas de fuente primaria mostradas es como 86, capaz de capturar helio gaseoso liberado directamente por la desintegración alfa de  $^{252}\text{Cf}$ , así como la  
15 generada por las reacciones de descomposición de berilio.

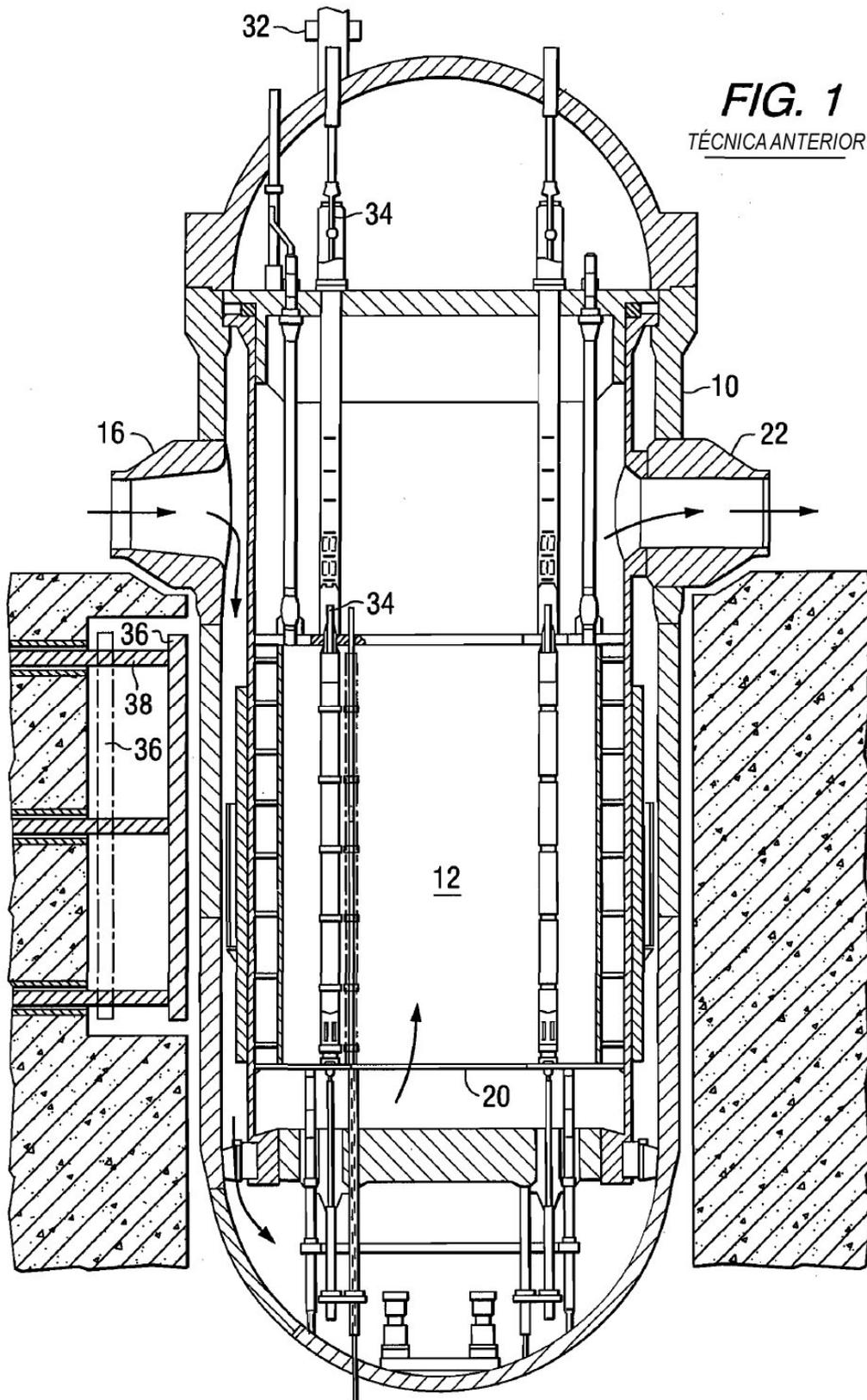
Aunque realizaciones específicas de la invención se han descrito en detalle, se apreciar  por parte de los expertos en la técnica que diversas modificaciones y alternativas a esos detalles podrían desarrollarse a la luz de las enseñanzas globales de la divulgación. De acuerdo con ello, las realizaciones particulares divulgadas pretenden ser solo ilustrativas y no limitativas en cuanto al alcance de la invención, al que se le ha de dar la amplitud  
20 completa de las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

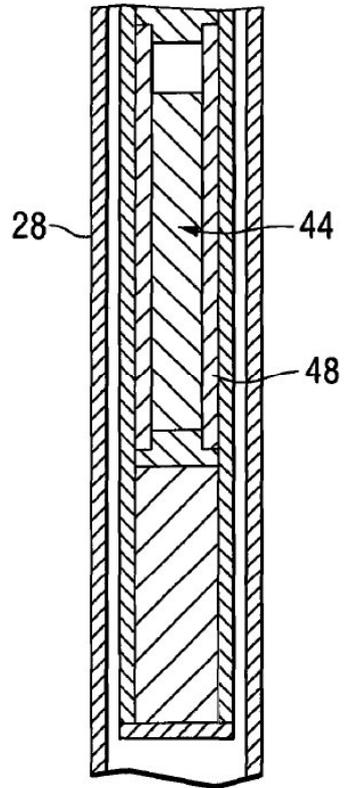
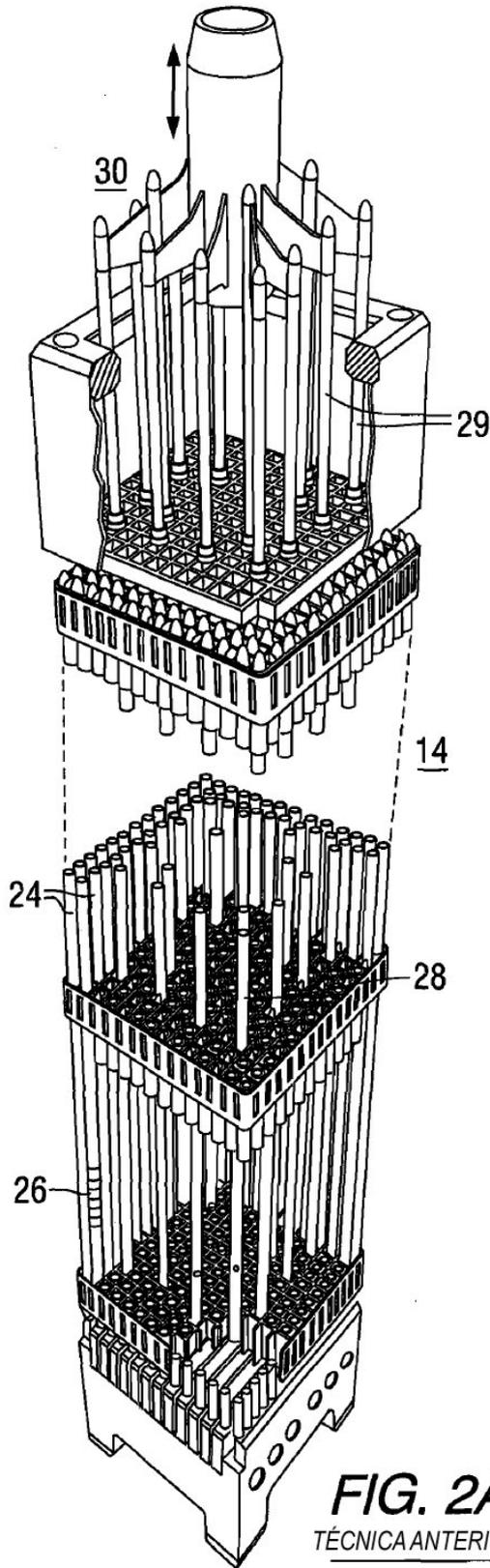
1. Un conjunto multiplicador (62) de fuentes de emisión de neutrones rápidos, que consiste esencialmente en:
  - una fuente de accionamiento (68) de  $^{252}\text{Cf}$ ;
  - un material (69) de superficie que consiste esencialmente en lámina o alambre; y
  - un segmento (64) de berilio como un segmento multiplicador, que está adaptado para multiplicar neutrones, en el que la fuente del controlador de  $^{252}\text{Cf}$  está dispuesta sobre el material de la superficie, el segmento de berilio como un segmento multiplicador rodea y encapsula la fuente del controlador de  $^{252}\text{Cf}$  y superficie el material y el conjunto multiplicador están dispuestos y sellados en un tubo (70) hueco;
 

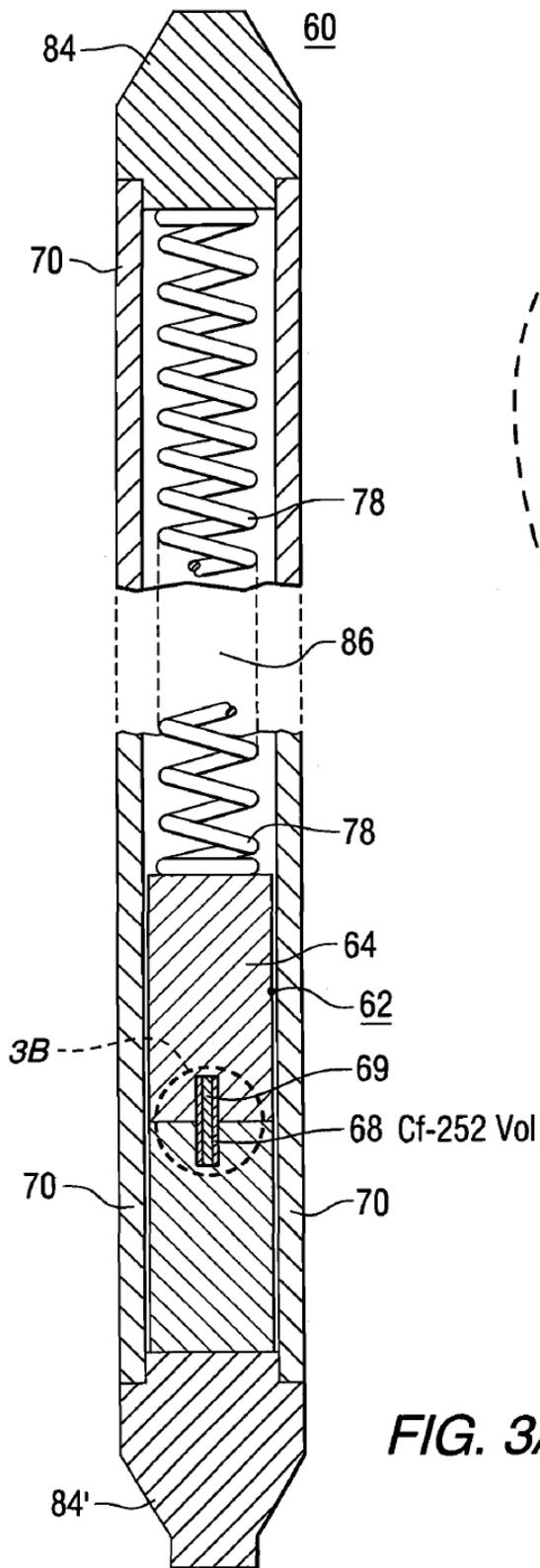
**caracterizado porque:**

    - una cortina de blindaje de un material capaz de detener partículas alfa se interpone entre la fuente del controlador de  $^{252}\text{Cf}$  y el segmento de berilio para modular la intensidad de la fuente de neutrones al interferir con la transmisión de partículas alfa al segmento de berilio.
2. El conjunto multiplicador (62) de fuentes de emisión de neutrones rápidos de la reivindicación 1, en el que el segmento (64) de berilio es un segmento mecanizado de berilio que tiene una muesca formada aproximadamente en el centro del segmento de berilio en el que está dispuesto el  $^{252}\text{Cf}$ .
3. El conjunto multiplicador (62) de fuentes de emisión de neutrones rápidos de la reivindicación 1, en el que el berilio está adaptado para capturar la energía de sustancialmente todos los compuestos de desintegración alfa de  $^{252}\text{Cf}$ , de forma que la energía de estas partículas se transforma en emisiones de neutrones.
4. El conjunto multiplicador (62) de fuentes de emisión de neutrones rápidos de la reivindicación 3, configurado en el que los neutrones producidos directamente por el  $^{252}\text{Cf}$  y los producidos por la transformación de productos de alfa y fisión por el conjunto multiplicador (62) de berilio se multiplican adicionalmente por reacciones de berilio (n, 2n) antes de que se emitan desde el conjunto de fuente.
5. El conjunto multiplicador (62) de fuentes de emisión de neutrones rápidos de la reivindicación 1, en el que el material (69) de superficie es una lámina o alambre de paladio.
6. El conjunto multiplicador (62) de fuentes de emisión de neutrones rápidos de la reivindicación 1, en el que el tubo hueco está sellado por tapones de extremo (84) superior e (84') inferior, en el que el conjunto multiplicador (62) se mantiene en su lugar contra uno de los tapones (84, 84') de extremo por un muelle (78).
7. El conjunto multiplicador (62) de fuentes de emisión de neutrones rápidos de la reivindicación 6, configurado en el que el gas de helio que evoluciona de la reacción de fuente de neutrones está confinado dentro de un volumen (86) vacío dentro del tubo hueco.
8. El conjunto multiplicador (62) de fuentes de emisión de neutrones rápidos de la reivindicación 6, en el que la fuente emisora de neutrones está configurada para proporcionar una fuente constante de neutrones suficiente para poner en marcha de forma segura un reactor nuclear.

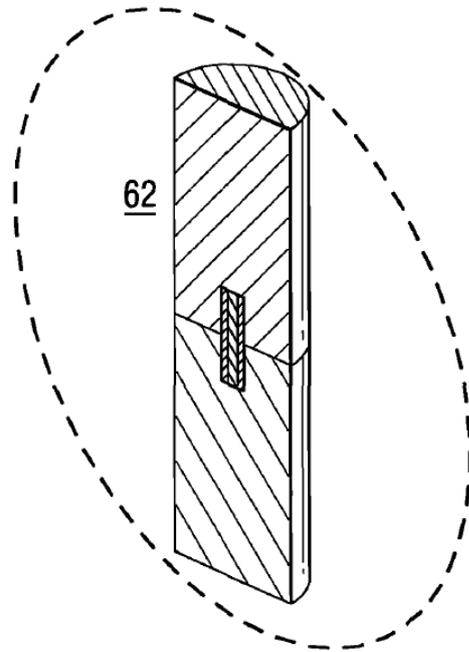


**FIG. 1**  
TÉCNICA ANTERIOR





**FIG. 3A**



**FIG. 3B**