

(19):



República Argentina
Ministerio de Economía y Producción
Secretaría de Industria, Comercio y de la
Pequeña y Mediana Empresa
Instituto Nacional de la Propiedad Industrial

(11) No de publicación:

AR 087776 A1

(41) Fecha de publicación:

16.04.2014

(51) Int. Cl.:

G21B 1/02

(12)

Solicitud de Patente Independiente

(22) Fecha de presentación: **04/09/2012**

(71) Solicitante(s):

(21) Número de solicitud: **P120103259**

**COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA (CNEA)
,AV. DEL LIBERTADOR 8250, (1429) CDAD. AUT. DE
BUENOS AIRES, AR**

(72) Inventor(es):

**SZTEJNBERG GONÇALVES=CARRALVES, MANUEL
LEONARDO**

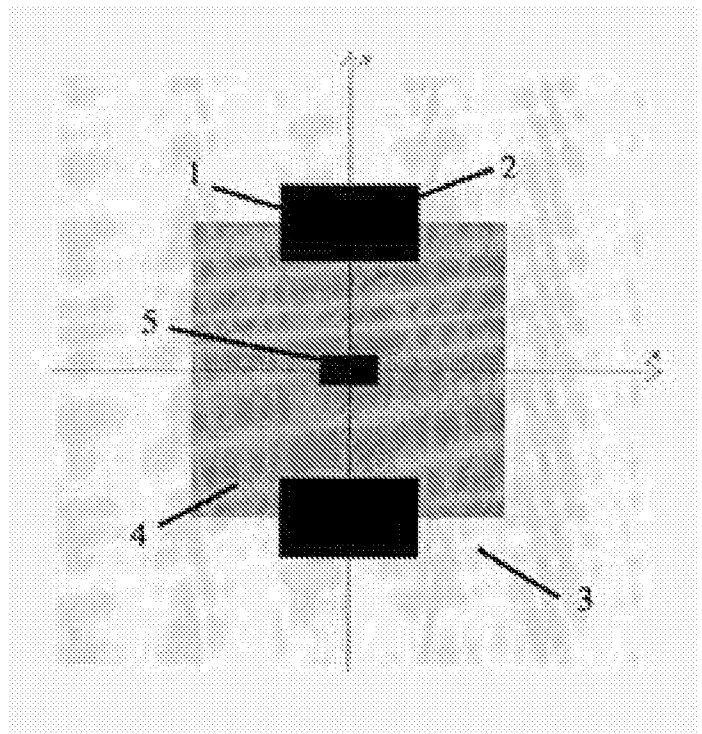
(74) Representante: **1812**

(54) Título:

CANAL DE IRRADIACION NEUTRONICA BASADO EN FUSION NUCLEAR

(57) Resumen:

La presente se refiere a un canal de irradiación neutrónica basado en fusión nuclear que tiene como característica la forma de producir neutrones que el mismo se encuentra basado en la utilización de dispositivos de fusión de alta producción de flujo neutrónico, mayores a 10^7 n/cm²·s, como ser por confinamiento inercial - electrostático (IECF). Otra característica se encuentra en la forma de utilizar los neutrones producidos y es que presenta un diseño con una posición de irradiación que se encuentra en una cavidad de aire rodeada de medio dispersor en una posición convergente respecto a las fuentes de neutrones, que se encuentra en dicho medio dispersor, y en la cual la distribución de flujo posee altos niveles de isotropía. La aplicación principal del desarrollo de la presente es realizar una instalación de irradiación neutrónica hospitalaria para aplicaciones en órganos explantados de la terapia por captura neutrónica en boro, denominado BNCT (Terapia de Captura Neutrónica de Boro). El canal consiste en una instalación con cinco componentes dispuestos de la siguiente manera: un conjunto de generadores de neutrones que están contenidos en regiones conversoras; las regiones conversoras se encuentran dentro de una región moderadora/reflectora y/o de una región moderadora, a través de las cuales pueden ser desplazadas; y, finalmente, la cavidad de irradiación que se encuentra contenida en la región moderadora.



En caso de ser Modificatoria indicar el N° de Acta

INPI Exp.: **20120103259**

PA
NAC

Trámite: 12152830 PATENTES Importe: \$650.- ✓

Fecha/Hora: 04/09/2012 13:53:44.573

Agente: FERNANDEZ JORGE ANIBAL

INSTITUTO NACIONAL DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL
ADMINISTRACION NACIONAL DE PATENTES



REPUBLICA ARGENTINA



SOLICITUD DE PATENTE DE INVENCION

SOLICITUD DE MODELO DE UTILIDAD

Hoja de

I. SOLICITANTE (S) CANTIDAD DE SOLICITANTES 1

Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) C.U.I.T./C.U.I.L. /C.D.I.: 30-54666021-0

Consiguar Nombre y Apellido o Denominación Social (de uno de ellos el resto en ANEXO) D.N.I. ----

Personas Físicas: Estado Civil: ----- Nupcias: -----

Nombre y apellido del cónyuge: ----- DNI: -----

Av. del Libertador 8250, CABA

Domicilio Real: Calle, Nº, Piso y Depto.

Localidad: CABA C. P. Nº 1429 País de Residencia: AR

Av. del Libertador 8250, CABA

Domicilio Legal - Calle - Nº - Localidad - Provincia Código Postal

Dirección de e-mail: patentes.invencion@cnea.gov.ar Teléfono: 1429

II. OBJETO

Título de la invención "CANAL DE IRRADIACIÓN NEUTRÓNICA BASADO EN FUSIÓN NUCLEAR"

Cáncer de la Patente / Modelo de Utilidad INDEPENDIENTE

Adicional a: Patente Nº ----- Divisional de la Solicitud Nº -----
Solicitud Nº -----

PRIORIDAD (LEY 17.011)		
PAIS	NUMERO	FECHA

DEPOSITO DE MICROORGANISMOS	
FECHA DE DEPOSITO	
Nº DE ACCESO AL DEPOSITO	
Nombre de la Institución Depositaria	
Domicilio de la Institución	País
Datos del Depositante	
Origen del Material Biológico y Genético	

INPI
Administración Nacional de Patentes
CONTROL ADMISIÓN
INTIMACIÓN NO SI

Continua en hoja anexa:

III. SOCIEDADES

SOCIEDAD REPRESENTADA POR QUIEN
 DECLARA BAJO JURAMENTO QUE INVISTE EL CARÁCTER DE QUE SU
 MANDATO SE ENCUENTRA VIGENTE Y LA SOCIEDAD SE HALLA INSCRIPTA EN

Datos de Inscripción en R.P.C. / I.G.J.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	Fecha:	Número	Nº Folio	Tomo:

IV. MANDATO

Poder inscripto en el I.N.P.I. bajo el número:

EN ESTE ACTO SE AUTORIZA A: (Apellido y Nombre y Nº de DNI)

Priano, Carla - DNI nº 33.022.488
 Torres, Paula - DNI nº 28.140.254

Para todas aquellas gestiones de mero trámite tales como practicar desgloses, retirar testimonios, certificados, títulos, copias y notificaciones en el expediente.

Contestar vistas, desistir solicitud, realizar peticiones (solamente cuando el Autorizado sea Agente de la Propiedad Industrial)

SE ACOMPAÑA PODER	<input checked="" type="checkbox"/>	AGENTE Nº	1812
-------------------	-------------------------------------	-----------	------

V. DECLARACION DE DIVULGACION PREVIA


A los efectos de lo indicado en el Art. 5º de la Ley 24.481, manifiesta que el presente invento ha sido divulgado previamente: (SI/NO) En caso afirmativo en fecha:

VI. OBSERVACIONES

Inventor: Manuel Leonardo Szejnberg Gonçalves-Carralves

Se deja constancia que los datos vertidos en el presente formulario revisten el carácter de declaración jurada; cualquier falsedad inserta en el mismo acarreará las consecuencias legales correspondientes.

NOTA: El pago del arancel correspondiente deberá concretarse al momento de la presentación o durante, las dos primeras horas de atención del subsiguiente día hábil. De no ocurrir el pago en dicho plazo, de pleno derecho de tendrá por no efectuada la presentación, la que no producirá efecto alguno.

<input type="text"/>	
Firma del / los autorizado / s	Firma del solicitante o su apoderado o representante legal

USO INTERNO

LA PRESENTACION CONSTA DE FOJAS

CAMBIO DE DOMICILIO/CORREO ELECTRONICO/TELEFONO: FECHA

Domicilio Real - Calle		Nº	
Localidad:	C. P. Nº	País de Residencia:	
Domicilio Legal - Calle - Nº - Localidad - Provincia			Código Postal
Dirección de e-mail:		Teléfono:	

CAMBIO DE APODERADO / AUTORIZADO: FECHA

Nuevo Apoderado o Autorizado:

TRANSFERENCIA O CAMBIO DE RUBRO:

Código: 311900 → \$ 500.00
 312900 → x 6 → \$ 180.00
 TOTAL: \$ 680.00

Memoria Descriptiva de la Patente de Invención

denominada

**“CANAL DE IRRADIACIÓN NEUTRÓNICA BASADO EN
FUSIÓN NUCLEAR”**

Solicitada por

Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), residente en
Av. del Libertador 8250, Capital Federal, República Argentina.

Inventor:

Manuel Leonardo Szejnberg Gonçalves-Carralves

Por el plazo de 20 años

La presente invención se refiere a un canal de irradiación neutrónica basado en fusión nuclear.

La instalación de irradiación neutrónica basada en fusión nuclear, o canal de irradiación de la invención, presenta un diseño con una posición de irradiación que se encuentra en una cavidad de aire rodeada de medio dispersor en una posición convergente respecto a las fuentes de neutrones, que se encuentra en dicho medio dispersor, y en la cual la distribución de flujo posee altos niveles de isotropía.

La aplicación principal del desarrollo de la presente invención es realizar una instalación de irradiación neutrónica hospitalaria para aplicaciones en órganos explantados de la terapia por captura neutrónica en boro, denominado BNCT (en inglés, Boron Neutron Capture Therapy).

La terapia BNCT para órganos explantados representa una opción de tratamiento, algunas veces la única, para pacientes que sufren de cánceres primarios o metastásicos muy agresivos en órganos explantables. Este es el caso de la metástasis irresecable en hígado de cáncer colono-rectal o de la intratable metástasis difusa en pulmón. La modalidad terapéutica mencionada consiste en la administración de un compuesto borado, la explantación del órgano requerida para realizar la irradiación neutrónica sin dañar al tejido circundante, la subsecuente irradiación y la reimplantación del órgano en el paciente. Actualmente, la explantación e implantación son procesos de rutina; sin embargo, la inclusión de una etapa de irradiación neutrónica hace el proceso más complejo.

La irradiación del órgano explantado debe realizarse en una instalación de irradiación neutrónica con altos niveles de flujo para poder hacer el tiempo de irradiación lo suficientemente corto como para que sea seguro (dado que este tiempo contribuye al tiempo total que el órgano está explantado). Además, la distribución de flujo a través de todo el órgano debe ser lo más uniforme posible.

Aplicaciones secundarias en las que el canal de irradiación de la invención podría ser utilizado puede extenderse a irradiaciones generales en el marco de investigación y desarrollo.

Dentro de las instalaciones de irradiación disponibles en el estado del arte con alto flujo de neutrones térmicos, diseñadas para la terapia BNCT como propósito, se encuentran aquellas acopladas a reactores nucleares basados en fisión, alternativamente, se encuentran en desarrollo instalaciones basadas en aceleradores que poseen haces de neutrones epitérmicos (y algunas de ellas parecen ser una potencial solución para el problema de las irradiaciones hospitalarias) y también existen desarrollos de instalaciones basadas en fusión, como la presente invención.

Las instalaciones de irradiación neutrónica acopladas a reactores de fisión no podrían construirse en centros hospitalarios (y/o urbanos) por razones de seguridad nuclear. Este hecho implica la imposibilidad de realizar irradiaciones hospitalarias, la necesidad de trasladar el órgano desde/hasta la instalación de irradiación y los riesgos asociados al proceso de transporte. Además, la utilización de un reactor de fisión adecuado para tal aplicación por propia naturaleza requiere de complejos sistemas de seguridad derivados de la alta reactividad del combustible que utiliza y de la latencia de la actividad nuclear pos-operación. Otra realidad de las instalaciones basadas en reactores es que, en la mayoría de los casos, deben compartir el reactor con otras prácticas que con él se desarrollan.

Las instalaciones basadas en aceleradores parecen ser una alternativa potable para el tipo de aplicación descrito. Sin embargo, su rendimiento en la aplicación clínica real no es clara y, menos aún, para la terapia BNCT de órgano explantado – para la cual no han sido específicamente diseñadas. Estas instalaciones proveen típicamente un haz de neutrones relativamente colimado que producen distribuciones de flujo con altos gradientes que se acentúan cuando tejidos son interpuestos. Lograr distribuciones de flujo uniformes con las intensidades requeridas para la terapia BNCT no es a priori uno de los puntos fuertes de este sistema. Los aceleradores utilizados son sistemas complejos por requerir de altas corrientes para producir altas tasas de producción de neutrones. Se debe tener en cuenta que los neutrones producidos deben ser sometidos a un proceso de moderación y de colimación (a través del conocido como beam shape assembly) que hacen difícil contar con altos flujos en el haz útil. La producción de neutrones se realiza a través de la irradiación de blancos sólidos que al ser sometidos a altos flujos de partículas y las consecuentes reacciones necesitan un complejo sistema de disipación de calor.

Los desarrollos existentes de instalaciones de irradiación basadas en fusión también deben probar su aplicabilidad clínica. Entre ellas tenemos dispositivos de fusión como plasma focus, que se divulga en la publicación "Feasibility analysis of a Plasma Focus neutron source for BNCT treatment of transplanted human liver" V. Benzi, F. Mezzetti, F. Rocchi (Nucl. Inst. Meth. Phys. Res. B 213, pp 611-615, 2004), que es un inyector de plasma de deuterio (D-D) o deuterio-tritio (D-T) que hace converger volúmenes móviles y acotados de plasma a regiones focalizadas donde se integran para alcanzar condiciones de densidad y temperatura para lograr fusión termonuclear. Son dispositivos poco estables para regímenes estacionarios y largos, como se necesita para la irradiación de un tratamiento de la terapia BNCT. En general, los resultados obtenidos de estos dispositivos han mostrado déficit en la calidad y/o cantidad de las distribuciones de flujo. Además, los dispositivos que podrían alcanzar producciones de neutrones requeridas para la terapia BNCT son relativamente voluminosos y complejos. También existen instalaciones de irradiación, basadas en fusión, como aceleradores compactos D-D o D-T, descritos en publicaciones como "BNCT dose distribution in liver with epithermal D-D and D-T fusión-based neutron beams" H. Koivunoro, D. L. Bleuel, U. Nastasi, J. Reijonen, K. N. Leung (Appl. Radiat Isot. 61, pp 853-859, 2004), "D-D neutron generator development at LBNL" J. Reijonen, F. Gicquel, S. K. Hahto, M. King, T. P. Lou, K. N. Leung (Appl. Radiat Isot. 63, pp 757-763, 2005) y "Design of an epithermal column for BNCT base don D-D fusión neutrón facility" E. Durisi, A. Zanini, C. Manfredotti, F. Palamara, M. Sarotto, L. Visca, U. Nastasi (Nucl. Inst. Meth. Phys. Res. A 574, pp 363-369, 2007). Estos aceleradores compactos impactan contra un blanco sólido con suficiente energía como para producir reacciones de fusión con los deuterones y tritones previamente depositados. El hecho de tener un blanco sólido va en detrimento del rendimiento del dispositivo en términos de durabilidad y de necesitar sistemas de refrigeración complejos. En ambos casos, plasma focus o acelerador compacto, se muestra que con las mencionadas configuraciones los flujos reales que pueden obtenerse no son suficientemente altos y el escalado a flujos más altos es muy complejo y poco probable en términos de implementación.

En general, todos los sistemas mencionados son excesivamente costosos y/o voluminosos como para asociarlos en un ensamble modular para aumentar las

intensidades a niveles adecuados y/o para suplir fácilmente la funcionalidad cuando alguno tiene un desperfecto. La presente invención soluciona dichos inconvenientes del estado de la técnica siendo una característica novedosa que la invención está basado en la utilización de dispositivos de fusión de alta producción de flujo de neutrones, como ser por confinamiento inercial-electrostático (IECF) – pero el diseño también podría aplicarse con otras fuentes neutrónicas. Siendo IECF, una de las diferencias con los dispositivos basados en fusión antes mencionados, pero esta diferencia es solo en la forma de producir los neutrones. Hay otra diferencia que es la forma de utilizarlos, en los casos mencionados el dispositivo de irradiación emite un “haz” de neutrones (que diverge desde el generador) mientras que en la presente invención los generadores de neutrones rodean la posición de irradiación para producir en ella una “nube” (convergente) de neutrones. Además, la instalación de la invención utiliza múltiples generadores. El presente desarrollo tiene entre sus características novedosas que utiliza la región conversora en combinación con los dispositivos de fusión y que estos mismos rodean la cavidad de irradiación. Otra característica novedosa es que el canal de irradiación neutrónica de la invención presenta capacidad de cambio de estado (campo radiante) encendido/apagado instantáneo. Por último, otra característica novedosa es que se pueda contar con un sistema modular de fuentes modulables.

El concepto de fusión por confinamiento inercial-electrostático (IECF) fue introducido luego de la primera mitad de la década de 1960 a través de los diseños y dispositivos de P. T. Farnsworth (U.S. Pat. No. 3.258.402 y 3.386.883) y R. L. Hirsch (U.S. Pat. No. 3.530.036). Los primeros diseños consistían en dispositivos esféricos. Desde entonces, muchas aplicaciones y dispositivos se han desarrollado basados en dicho concepto. Hirsch luego introduce en su desarrollo los dispositivos por confinamiento inercial electrostático cilíndrico radial y G. H. Miley, en conjunto con otros investigadores, aquellos por confinamiento inercial electrostático cilíndrico axial (U.S. Pat. No. 6.121.569, 6.171.451 y 6.188.746). Las tasas de producción de neutrones eran típicamente de 10^7 n/s o menores. Distintas estrategias se han utilizado para incrementar la generación tales como utilización de inyección de haces de iones o campos magnéticos externos. Recientemente se ha presentado un generador de neutrones que tiene las características necesarias para aplicaciones en

la terapia BNCT y es el compacto generador de neutrones basado en IECF producido por NSD-fusion (C. Regenfus "Neutron generator system design report for Zurich University Neutron Facility/CERN" NSD-Fusion Tech. Note NSD-188, 1 C 8-1-2010; J. Sved "NSD-Fusion IEC neutron generator" Neutron Users Club Meeting, National Physical Laboratory, Teddington, UK, October 6, 2010). Este tipo de generador está basado en el concepto de confinamiento inercial electrostático cilíndrico axial y, gracias a mejorados balances de estado de gases (combustible) y sistemas de electrodos, es capaz de producir más de 10^{10} n/s sin utilización de campos magnéticos externos ni inyección de haces de iones. Dada la simplicidad, su tamaño reducido y relativo bajo costo, se puede ensamblar un arreglo de generadores para construir una instalación hospitalaria de irradiación de neutrónica con los patrones de flujo necesarios para la terapia BNCT. Un aspecto muy importante del diseño es que, por razones de seguridad, no se han utilizados ensambles "críticos" para la multiplicación neutrónica.

El canal o cámara de irradiación neutrónica, de la invención, consiste en una instalación de irradiación neutrónica con una (o varias) posición de irradiación ubicada en una cavidad de aire rodeada de medio dispersor en una posición convergente respecto a la fuente de neutrones, cuya fuente de neutrones se encuentra relacionada con dicho medio dispersor y contenida en una región conversora.

Una de las ventajas del canal de irradiación neutrónica de la invención es que permite desarrollar campos neutrónicos de alta intensidad y uniformidad y con una amplia modulación de energía mediante la utilización de múltiples fuentes de neutrones distribuidas en un medio dispersor. La posición de irradiación se encuentra ubicada en forma convergente respecto de las fuentes en el novedoso canal de irradiación de la invención. Otra ventaja de la invención es que la distancia entre las fuentes y la posición de irradiación puede hacerse variable para poder modular tanto la intensidad como el espectro de los neutrones que se encuentran en la posición de irradiación. La modularidad del ensamble de generadores de neutrones permite independencia funcional entre los mismos con la consecuente versatilidad que este hecho provee, por ejemplo: la instalación no deja de funcionar si uno (o varios) de los dispositivos no funciona; los generadores pueden ser reemplazados sin reemplazar o

desmantelar todos los sectores funcionales de la instalación; se puede regular la cantidad de generadores que se utilizan según las necesidades, siendo otras de las ventajas. Los generadores pueden ser suficientemente pequeños y económicos como para permitir el mencionado ensamble modular. El sistema posee niveles de seguridad nuclear y capacidades de instalación en centros hospitalarios y zonas urbanas similares a los de los aceleradores. Por otro lado, el canal de irradiación neutrónica de la invención posee distribuciones de flujo en la zona de irradiación con intensidades similares a las encontradas en las columnas térmicas de reactores de fisión pero con mayor uniformidad y capacidad de modulación en intensidad y energía.

El hecho de contar con un moderador central que puede ser líquido permite que la cavidad de irradiación pueda cambiar de tamaño y forma según convenga.

El objetivo principal del canal de irradiación de la invención es obtener una instalación de irradiación neutrónica hospitalaria para aplicaciones en órganos explantados de la terapia por captura neutrónica en boro, BNCT.

Un segundo objetivo del canal de irradiación de la invención es que su diseño provea a la instalación más versatilidad que la que cuentan las instalaciones antes mencionadas basada en: menor complejidad constructiva, modularidad funcional, modulación de energía e intensidad, y menores o similares costos de seguridad y económicos.

Como antes mencionamos, la aplicación principal para la cual el canal de irradiación de la invención es pensado es para la irradiación neutrónica hospitalaria de órganos explantados durante tratamientos de la terapia BNCT. Sin embargo, la aplicación puede extenderse a irradiaciones generales en el marco de investigación y desarrollo. Dado el amplio rango de variación del espectro de energía y de la intensidad de la distribución de neutrones en la zona de irradiación y la seguridad del sistema, el canal de irradiación neutrónica, de la invención, podría ser instalado en diversos tipos de instalaciones. Por ejemplo, podría utilizarse para ensayos por activación neutrónica, irradiación de tejidos orgánicos, ensayos de daños de materiales por irradiación, etc.

Uno de los objetivos principales para el diseño del canal de irradiación de la invención, como mencionamos, es su utilización para la terapia BNCT de órgano explantado para lo que se requiere de fluencias de neutrones térmicos de alrededor de $4 \cdot 10^{12} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2}$. Consecuentemente, el flujo térmico requerido para una irradiación que dure menos a una hora debe ser mayor a $109 \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. También se requiere de una alta termalización neutrónica para maximizar la dosis “selectiva” provocada por el boro y minimizar la dosis “no selectiva” provocada por los neutrones rápidos. Además, una gran uniformidad se debe alcanzar en las posiciones de irradiación para mejorar las distribuciones de dosis. En base a las mencionadas necesidades se desarrolla el diseño del canal de la invención.

A fin de una mejor comprensión de la presente invención y mayor entendimiento de las ventajas comentadas, más las que los entendidos en la especialidad podrán agregar, se realiza a continuación la descripción detallada de un ejemplo preferido de realización del canal de irradiación neutrónica de la presente invención, en base a los dibujos adjuntos, en los cuales:

La Figura 1 muestra una vista longitudinal de un esquema de un canal según la invención, con los distintos componentes.

La Figura 2 muestra una vista transversal del esquema de la Figura 1.

La Figura 3 muestra una vista longitudinal de un detalle las regiones conversoras.

La Figura 4 muestra una vista transversal del detalle las regiones conversoras de la Figura 3.

La Figura 5 muestra una vista longitudinal de un esquema de la cavidad de irradiación.

La Figura 6 muestra una vista transversal del mismo esquema de la Figura 5.

La Figura 7 muestra una vista longitudinal de un detalle del esquema de acoplamiento mecánico y eléctrico entre las regiones.

La Figura 8 muestra una vista transversal del esquema de la Figura 7.

En la Figura 9 se puede observar una configuración alternativa de la instalación.

En las figuras, a iguales números de referencia corresponden iguales o equivalentes elementos constitutivos del ejemplo de realización del canal de irradiación de la invención.

Se puede observar en el esquema conceptual, de las Figuras 1 y 2, que dicho canal consiste en una instalación con cinco componentes dispuestos de la siguiente manera: un conjunto de generadores de neutrones (1) que están contenidos en regiones conversoras (2); las regiones conversoras se encuentran dentro de una región moderadora/reflectora (3) y/o de una región moderadora (4), a través de las cuales pueden ser desplazadas; y, finalmente, la cavidad de irradiación (5) que se encuentra contenida en la región moderadora.

La fuente de neutrones de la instalación son los generadores de neutrones (1). El canal de irradiación de la invención considera – pero no está restringido al – uso de generadores de neutrones NSD-Fusión ubicados a una distancia que llamaremos RNG paralela al eje de la instalación y operando plasma-gas D-T (RNG: distancia entre el eje de simetría de los generadores y el de la instalación). Este combustible produce alrededor de dos órdenes de magnitud más de neutrones que el de tipo D-D (este combustible será tenido en cuenta cuando las tasa de producción sean mejoradas). Los dispositivos de NSD-Fusión son de una compacta geometría cilíndrica y estarían en condiciones de proveer tasa de producción de neutrones de 14 MeV superiores a $10^{11} \text{ n}\cdot\text{s}^{-1}$ ($\sim 8 \cdot 10^5 \text{ n}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a 1 m de distancia de una fuente puntual en vacío). La generación se produce linealmente a lo largo de 45 cm del eje del cilindro dentro de la unidad de emisión de 13 cm de diámetro. Los generadores se caracterizan por una producción que no es nuclearmente crítica (reacción en cadena sostenida o amplificada a lo largo del tiempo) con la posibilidad de ciclos de encendido/apagado con tiempos de establecimiento prácticamente instantáneos con estado normal apagado. Esto último significa que un simple corte del suministro de energía eléctrica, que se requiere para que funcionen, los haría apagarse (si no lo estuvieran) sin provocar mayores complicaciones desde el punto de vista de la seguridad nuclear. La utilización de blancos de gas de plasma evita los problemas

que poseen los blancos sólidos (como los encontrados en los generadores basados en aceleradores) y ayuda que los generadores cuenten con una durabilidad (tiempo neto de operación sin inconveniente) de más de 20.000 horas. El uso de gas D-T como combustible D-T conduce a un re-llenado del repositorio de gas cada, aproximadamente, cinco años desde el llenado original. Este re-llenado junto con los chequeos de fuga de tritio parecen ser a priori los requerimientos de mantenimiento más importante de los generadores.

La región conversora (2) – que puede no estar – es introducida en el diseño para tomar ventaja de los neutrones altamente energéticos que se producen en los dispositivos de fusión. Tales neutrones pueden provocar en ciertos materiales reacciones (n, Nn) con $N=2, 3, \text{etc.}$, produciendo a su vez más cantidad de neutrones menos energéticos. La utilización de dicho fenómeno ayuda al mismo tiempo a los procesos de multiplicación y reducción de la energía de la población de neutrones dentro de un volumen reducido. Un material muy atractivo para esta región es el bismuto (^{209}Bi) dada su reducida sección eficaz de captura de neutrones térmicos y su alta sección eficaz para la reacción $(14 \text{ MeV } n, 2n)$. Geométricamente, el conversor es un cilindro con una cavidad (que contiene al dispositivo de fusión) con radios externo e interno RC y RF, respectivamente. Por conveniencia, se define el espesor de la pared coaxial del cilindro como $\text{TCF}=\text{RC}-\text{RF}$. Los largos externo e interno son LC y LF. Según la elección final de materiales esta región podría no estar en el diseño, reducirse hasta formar una simple cobertura o, simplemente, fusionarse a las regiones que la contienen. Tal es el caso de la utilización de agua pesada como moderador y conversor.

Las Figuras 3 a 8 muestran, respectivamente, en detalle las regiones conversoras (Figuras 3 y 4), la cavidad de irradiación (Figuras 5 y 6), y el esquema de acoplamiento mecánico y eléctrico entre las regiones (Figuras 7 y 8).

En las Figuras 3 y 4 se puede observar el espacio (8) en él se alojaría cada generador de neutrones. La cobertura (7) serviría de acoplamiento mecánico y eléctrico según se requiera. A través de los terminales de soporte mecánico y eléctrico (9, 10, 13, 14) pasarían las líneas eléctricas de potencia y control de los generadores. Dentro del sistema de terminales, (9) y (13) son conductos mientras

que (10) y (14) son el acople entre el conducto y la región conversora. Las líneas eléctricas de potencia incluyen el suministro de alta tensión para los generadores y el de algún otro dispositivo accesorio necesario. Las líneas de control incluyen sistemas de sensores de distintos parámetros físicos relacionados con el funcionamiento de los generadores y del canal de irradiación neutrónica de la invención, entre los que se pueden encontrar detectores de radiación, sensores de temperatura, sensores de presión y sensores electrométricos.

También se pueden observar en las Figuras 3 y 4 las regiones conversoras (2) que pueden estar revestidas externamente por la cobertura (6) e internamente por la cobertura (7) que es la interfaz con el espacio (8) donde se alojan los generadores de neutrones (1). Estas coberturas son en el ejemplo de realización preferido, de láminas de un acero con bajo nivel de activación para que provean cierto nivel de rigidez mecánica y buena conductividad (para potenciales neutros). Las regiones conversoras tienen un sistema de apertura y cierre (17). A su vez, como puede verse en conjunto con la Figura 7, están acopladas a sistemas de soporte mecánico y eléctrico laterales (26) a través de los terminales de soporte mecánico (11, 12) y de los terminales de soporte mecánico y eléctrico (13, 14). Están también acopladas al sistema de soporte mecánico y eléctrico superior (27) a través de los terminales de soporte mecánico y eléctrico (9, 10) y al sistema de soporte mecánico inferior (28) a través de los terminales de soporte mecánico (15, 16). La cavidad de irradiación (5) cuya forma se debe a la muestra a irradiar puede estar rodeada por una capa de contención física y de adaptación de forma de campo radiante (18) y por una capa de soporte físico y blindaje (19). La cavidad de irradiación tiene un sistema de apertura y cierre (22). A su vez, está acoplada al sistema de soporte mecánico y eléctrico superior (27) a través de los terminales de soporte mecánico y eléctrico (24, 25). Está también acoplada al sistema de soporte mecánico inferior (28) a través de los terminales de soporte mecánico (20, 21).

La región conversora tiene un sistema de apertura y cierre (17) para permitir el acceso a la cavidad (8) que cumple con requerimientos de estanqueidad bidireccional –evitar fugas de materiales desde y hacia la cavidad (8). Esta región también cuenta con una cobertura (6) que sirve de contención y protección químico-mecánica del material conversor (2).

Como se observa en las Figuras 7 y 8, las regiones conversoras están acopladas a los sistemas de soporte mecánico y eléctrico (26) y (27) y de soporte mecánico (28) que soportan la carga mecánica de las regiones conversoras (con los respectivos generadores) y la cavidad de irradiación. Estos sistemas de soporte permiten el desplazamiento tanto radial como longitudinal de las regiones conversoras (ver flechas en Figura 7) permitiendo la regulación de las distribuciones de los campos radiantes como la extracción de los componentes antes mencionados hacia afuera de la instalación. Los sistemas de soporte eléctrico son centros de distribución de líneas eléctricas de potencia y control hacia los generadores y la cavidad de irradiación. Son, además, la interfaz conectada con la consola de comandos del canal de irradiación de la invención y el suministro eléctrico de potencia. Los sistemas de soporte mecánico y eléctrico están conectados a las regiones conversoras a través de los conductos (9) y (13) y de los acoples (10) y (14). Los sistemas de soporte mecánico están conectados a las regiones conversoras a través de los tensores (11) y (15) y de los acoples (12) y (16).

Los sistemas de soporte (26, 27 y 28) alojan el acoplamiento con las barras sujetas al sistema fuente (regiones conversoras y generadores) que conforman los conductos (9) y (13). Dichas barras, si los mencionados acoplamientos son móviles, pueden ser desplazadas mediante algún tipo de actuador en sus extremos provocando también el desplazamiento del sistema fuente. De acuerdo a los grados de movilidad de los acoples en el sistema soporte y en el sistema fuente, los desplazamientos podrían desde restringirse a una dirección (longitudinal o radial) hasta tener plena libertad en el espacio tridimensional asignado. En este ejemplo de realización la región moderadora y la región moderadora/reflectora es agua pesada. Al ser líquido los desplazamientos mencionados se realizan de forma tal que los acoples entre los sistemas de soporte (26), (27) y (28) son bujes con algún dispositivo de fijación que permite que las barras se deslicen axialmente cuanto se requiera para ser fijadas en la posición deseada. A su vez, los mismos bujes tienen un basamento móvil que les permite un movimiento solidario al del sistema fuente. De esta manera, se puede variar la distancia desde la fuente hasta la cavidad de irradiación para permitir diferentes conformaciones geométricas y energéticas del flujo neutrónico.

En caso de que el moderador y el moderador/reflector no son líquidos el movimiento también puede darse requiriendo de mayor complejidad constructiva/operativa. Por ejemplo, podría realizarse mediante la remoción y reposicionamiento de los bloques constructivos que conformen las distintas regiones previa y posteriormente, respectivamente, al movimiento del sistema fuente.

El moderador/reflector (3), que se observa en las Figuras 1 y 2, es un cubo (aunque esta forma final puede adaptarse a la habitación que contenga la instalación u otras necesidades) de lado LMR con múltiples cavidades cilíndricas donde se aloja el resto de las regiones funcionales – conversores (2) y moderador (4) – y tiene dos propósitos principales: ser el primer blindaje de la instalación con el medio externo y, mediante dispersión neutrónica, hacer que los neutrones vuelvan al centro de la instalación después de haber perdido energía. Los materiales considerados para esta región son grafito y agua pesada dada su alta eficiencia para termalizar neutrones rápidos y su baja sección eficaz macroscópica para captura de neutrones térmicos. Agua pesada sería a priori la opción más apropiada desde el punto de vista neutrónico; sin embargo, su alto costo, disponibilidad y restricciones de seguridad nuclear hacen necesario evaluar otros materiales, especialmente, para regiones de gran volumen como lo puede ser el moderador/reflector. El grafito parece ser una opción viable dadas sus propiedades de absorción y dispersión y su mucho menos problemática adquisición.

También debe considerarse un sistema completo de blindaje exterior debido a que una cantidad importante de neutrones térmicos puede escapar a través de los materiales antes mencionados. Un primer y simple acercamiento a este problema considerara un revestimiento externo con un material con alta sección eficaz de captura de neutrones térmicos (p.ej. Boral).

La interfaz entre esta región (3) y la moderadora (4) podría tener características especiales asociadas a los tipos de materiales finalmente seleccionados para ellas. Como caso base, la interfaz podría implementarse como una cobertura que funcione como acoplamiento mecánico y evite el contacto químico.

Esta región también puede alojar los sistemas de soporte eléctrico y mecánico aunque también podrían estar fuera de él, excepto por los conductos y tensores.

Como se observa en las Figuras 1 y 2, el moderador (4) está ubicado entre las fuentes de neutrones (1), con los respectivos conversores (2), y la cavidad de irradiación (5) para moderar los neutrones a la energía requerida, en el caso de la terapia BNCT, a un espectro térmico. Al igual que en el caso del moderador/reflector (3), grafito y agua pesada son los materiales más atractivos por sus propiedades de dispersión y absorción y, consecuentemente, considerados para tal función. Esta región tiene forma cilíndrica con cavidades cilíndricas sobre su circunferencia para los dispositivos de fusión (1) y los conversores (2) y la cavidad irradiación en su centro (5). Posee radio y largo externos RM y LM, respectivamente.

La cavidad de irradiación (5) es el espacio hueco que se introduce en el moderador para alojar las muestras a ser irradiadas y puede tener formas irregulares de acuerdo a la muestra. Podría contar con blindajes y soportes especiales para la muestra según se requiera. En este caso se lo define como (y no limitado a) un paralelepípedo lleno de aire con largo, ancho y alto LIC, WIC, y HIC, respectivamente. Como se observa en las Figuras 5 y 6, cuenta con una cobertura (19) que sirve de contención y protección químico-mecánica y con una capa de soporte de muestra (18). La cavidad tiene un sistema de apertura y cierre (22) para permitir el acceso de muestras y dispositivos de medición que cumple con requerimientos de estanqueidad bidireccional –evitar fugas de materiales desde y hacia la cavidad.

La cavidad está acoplada a los sistemas de soporte mecánico y eléctrico (27) y de soporte mecánico (28), como se observa en las Figuras 7 y 8. Estos sistemas de soporte permiten el desplazamiento tanto radial como longitudinal de la cavidad (ver flechas en Figura 7) permitiendo la regulación de las distribuciones de los campos radiantes como la extracción de los componentes antes mencionados hacia fuera de la instalación. Los sistemas de soporte mecánico y eléctrico están conectados a la cavidad a través del conducto (25) y del acople (24). Los sistemas de soporte mecánico están conectados a la cavidad a través del tensor (20) y del acople (21).

A través de los terminales de soporte mecánico y eléctrico pasan líneas eléctricas de control. Las líneas de control incluyen sistemas de sensores de distintos parámetros físicos relacionados con el funcionamiento del canal de irradiación

neutrónica de la invención entre los que se pueden encontrar detectores de radiación y sensores de temperatura.

Como una aplicación secundaria podemos observar la disposición de la Figura 9 donde se observa que se puede extraer un haz conformado de neutrones que puede ser utilizado, por ejemplo, para análisis gamma instantáneo. En esta configuración la posición de irradiación (30) a diferencia de la forma previa (5) está por fuera de las regiones de generación, reflexión y moderación neutrónica (1, 2, 3 y 4). En esta configuración también aparece una región de traslado y conformación del haz neutrónico (29) que puede contar o no con filtros y moderadores.

Siguen 16 reivindicaciones en página 16.

REIVINDICACIONES

Habiendo descrito y determinado la naturaleza y alcance de la presente invención, y la manera que la misma ha de ser llevada a la práctica, se declara lo que se reivindica como invención y de propiedad exclusiva:

1) Canal de irradiación neutrónica basado en fusión nuclear, que tiene un sistema fuente de alto flujo neutrónico, mayor a 10^7 n/cm² s, una región moderadora/reflectora, formada por un material moderador/reflector que permite que los neutrones retornen a la instalación perdiendo energía y funciona como primer blindaje de dicho canal de irradiación; que contiene a una región moderadora, formada por un material con propiedades de dispersión y absorción para moderar los neutrones a un espectro térmico; y a una cavidad de irradiación que contiene al material a irradiar, caracterizado porque dicho sistema fuente comprende dos o más generadores de neutrones basados en fusión nuclear, dicha cavidad de irradiación se encuentra en una posición convergente respecto a dichos generadores y el canal contiene un sistema de soportes mecánicos del sistema fuente y de la cavidad de irradiación y un sistema de conexión eléctrica de potencia y control.

2) Canal de irradiación neutrónica, según reivindicación 1, caracterizado porque dicho sistema fuente está formado por dos o más regiones conversoras, que contienen un material conversor para la multiplicación y reducción de energía de la población de neutrones, y cada región conversora contiene uno de dichos generadores de neutrones.

3) Canal de irradiación neutrónica, según reivindicación 2, caracterizado porque dichos generadores de neutrones son basados en el principio de confinamiento inercial electrostático.

4) Canal de irradiación neutrónica, según reivindicación 3, caracterizado porque dicha región moderadora/reflectora contiene a la región moderadora, dicha región moderadora contiene a la cavidad de irradiación, dicho sistema fuente está contenido

en el sector comprendido entre la región moderadora/reflectora y la región moderadora.

5) Canal de irradiación neutrónica, según reivindicación 3, caracterizado porque dicha región moderadora/reflectora contiene a la región moderadora, dicha región moderadora contiene a la cavidad de irradiación, dicho sistema fuente está contenido en la región moderadora/reflectora.

6) Canal de irradiación neutrónica, según reivindicación 3, caracterizado porque dicha región moderadora/reflectora contiene a la región moderadora, dicha región moderadora contiene a la cavidad de irradiación, dicho sistema fuente está contenido en la región moderadora.

7) Canal de irradiación neutrónica, según reivindicación 2, caracterizado porque dicho material conversor es ^{209}Bi .

8) Canal de irradiación neutrónica, según reivindicación 2, caracterizado porque dicha región conversora posee una cavidad en su interior para alojar al generador de neutrones, con una cobertura exterior y otra interior para protección mecánica del material conversor, con uno o más acoples que conectan al soporte mecánico, uno o más conductos por los que pasan líneas eléctricas de potencia y de instrumentación para control que conectan al soporte eléctrico y un sistema de apertura y cierre de la región conversora.

9) Canal de irradiación neutrónica, según reivindicación 8, caracterizado porque dicha cavidad de irradiación es un espacio hueco para alojar al material a irradiar, tiene una cobertura externa para protección y contención químico-mecánica, tiene un conducto por los que pasan líneas eléctricas de instrumentación para control que conecta al soporte eléctrico, un acople que conecta al soporte mecánico y un sistema de apertura y cierre de la cavidad de irradiación.

10) Canal de irradiación neutrónica, según reivindicación 9, caracterizado porque el material moderador/reflector de dicha región moderadora/reflectora es grafito.

11) Canal de irradiación neutrónica, según reivindicación 9, caracterizado porque el material moderador/reflector de dicha región moderadora/reflectora es agua pesada.

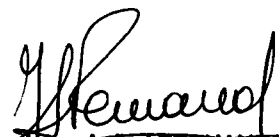
12) Canal de irradiación neutrónica, según reivindicación 9, caracterizado porque el material moderador de dicha región moderadora es grafito.

13) Canal de irradiación neutrónica, según reivindicación 9, caracterizado porque el material moderador de dicha región moderadora es agua pesada.

14) Canal de irradiación neutrónica, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dichos sistemas de soporte mecánico y soporte eléctrico están compuesto por un soporte mecánico eléctrico lateral conectado a dos o más sistemas fuentes por medio de conductos y acoples; un soporte mecánico eléctrico superior conectado a dos o más sistemas fuentes y a la cavidad de irradiación por medio de conductos y acoples y un soporte mecánico inferior conectado a dos o más sistemas fuentes y a la cavidad de irradiación por medio de acoples.

15) Canal de irradiación neutrónica, según reivindicación 14, caracterizado porque dicho sistema de soporte mecánico eléctrico posee medios de deslizadores que permiten el desplazamiento radial y longitudinal de dos o más sistemas fuentes.

16) Canal de irradiación neutrónica, según reivindicación 15, caracterizado porque es aplicado para la Terapia de Captura Neutrónica de Boro.


Ing. José Anibal FERNÁNDEZ
JEFE DEPARTAMENTO
PROPIEDAD INTELECTUAL
Gols. PLANIFICACION, COORDINACION Y CONTROL

Comisión Nacional de Energía Atómica

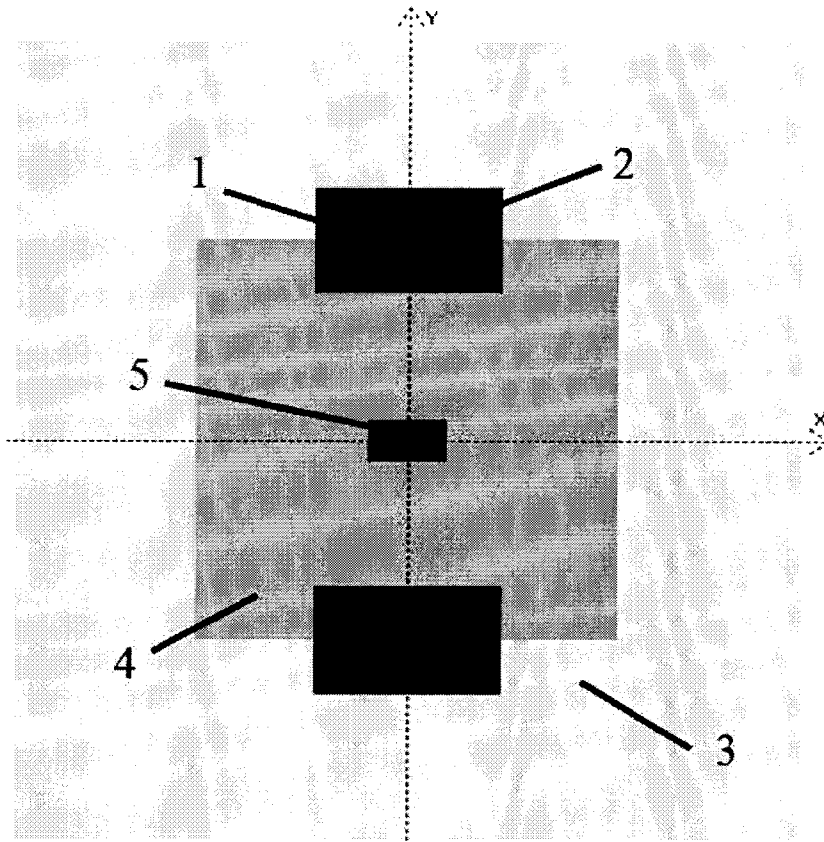


Figura 1

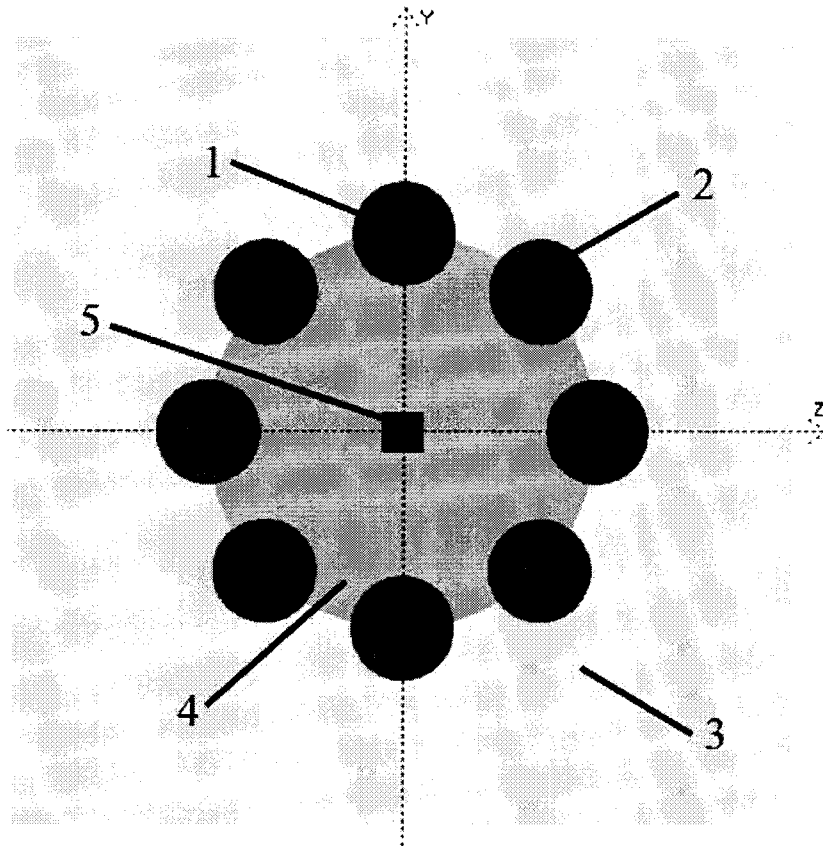


Figura 2

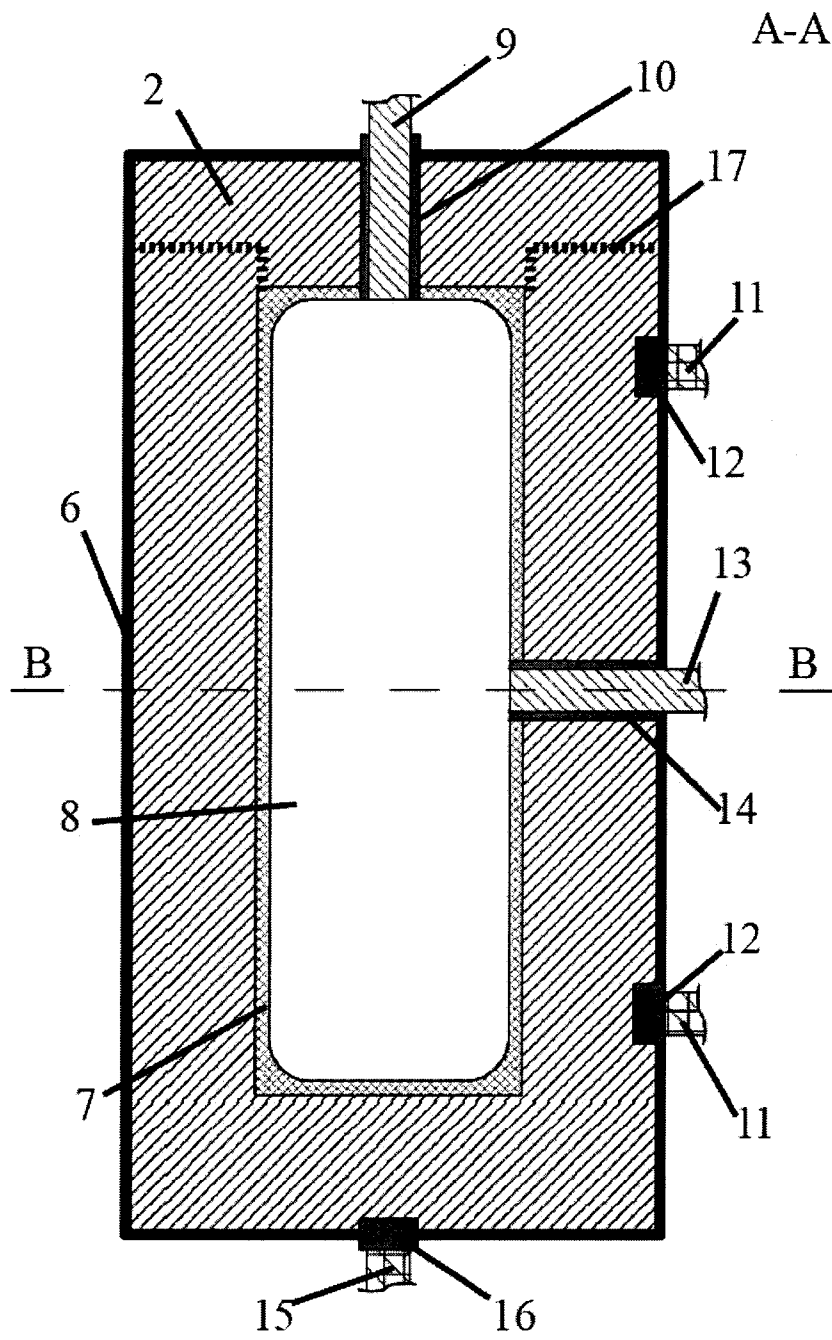


Figura 3

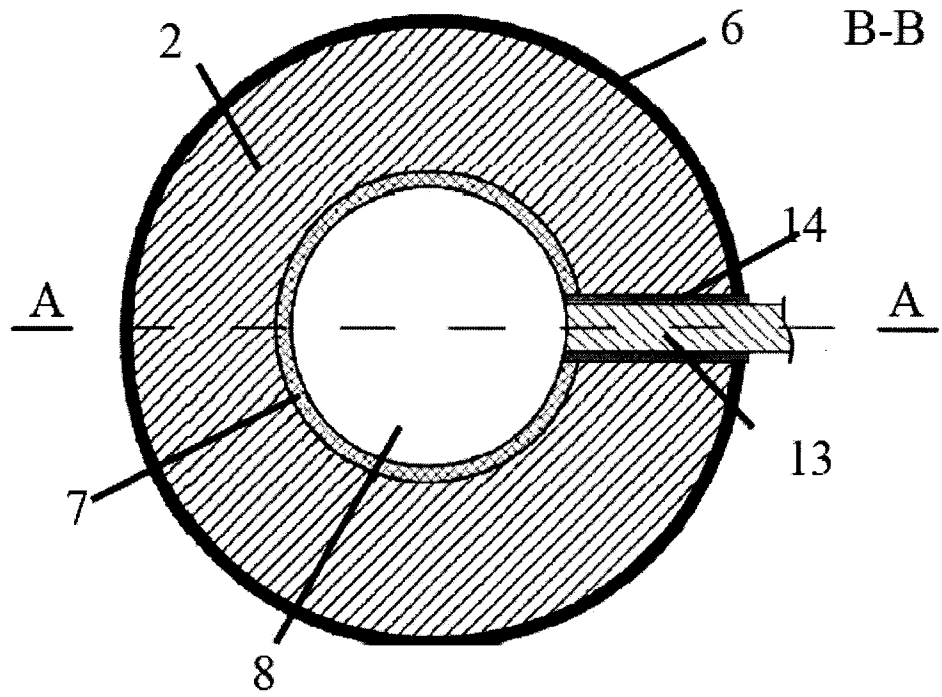


Figura 4

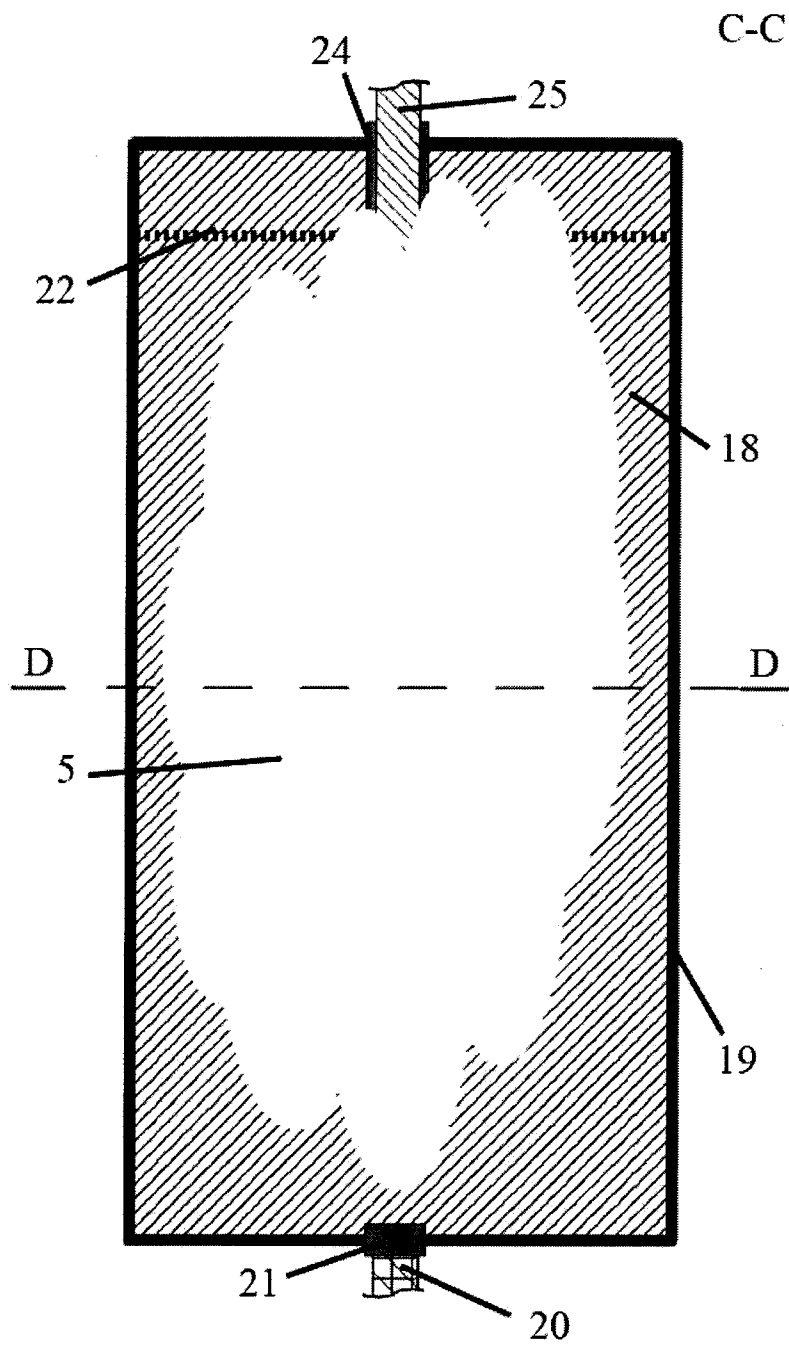


Figura 5

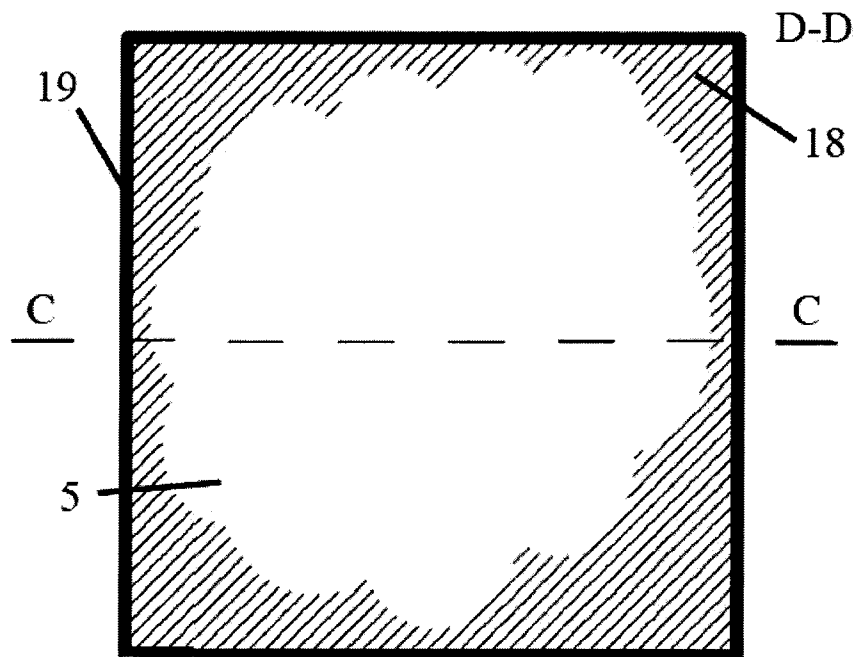


Figura 6

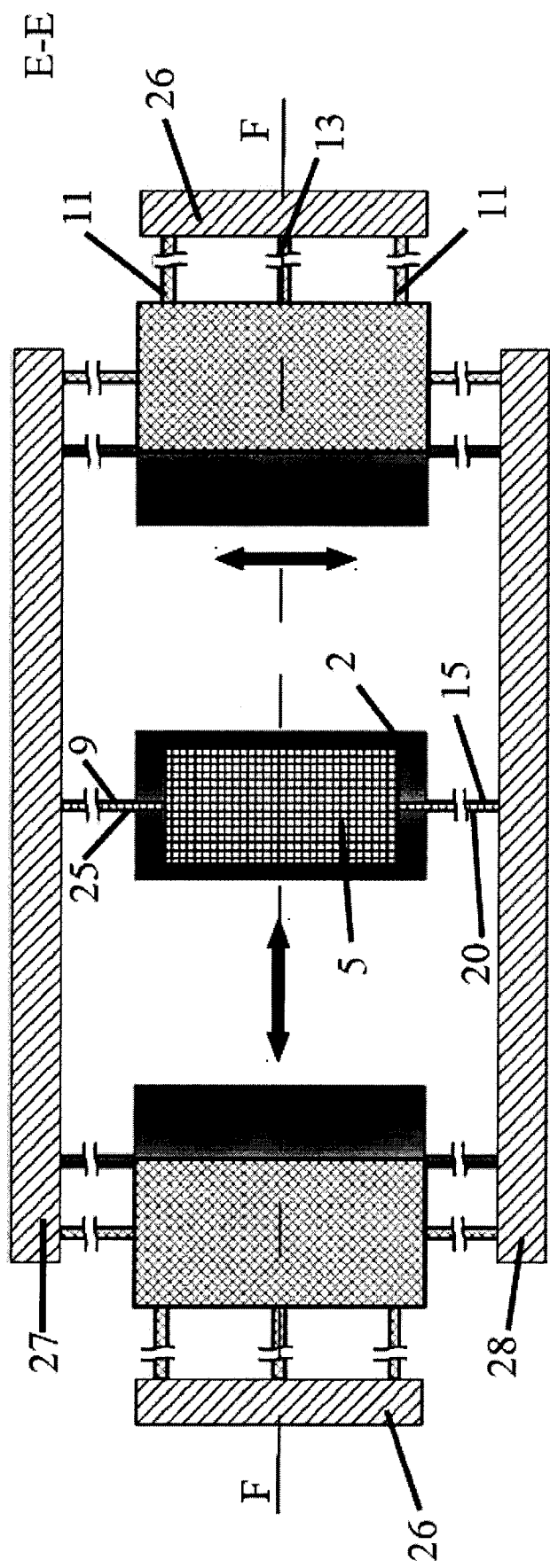


Figura 7

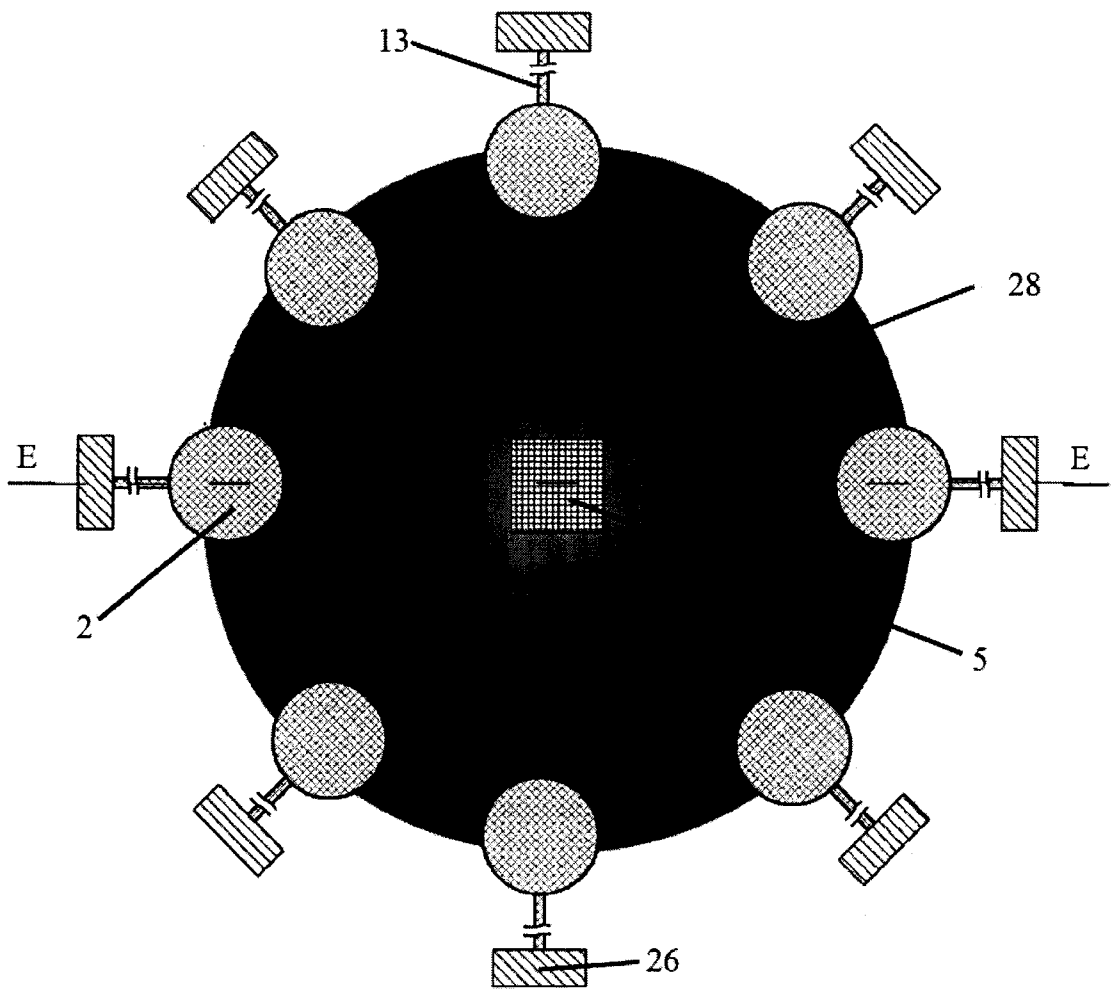


Figura 8

RESUMEN

La presente invención se refiere a un canal de irradiación neutrónica basado en fusión nuclear que tiene como característica novedosa en la forma de producir neutrones que el mismo se encuentra basado en la utilización de dispositivos de fusión de alta producción de flujo neutrónico, mayores a 10^7 n/cm² s, como ser por confinamiento inercial-electrostático (IECF). Otra característica novedosa se encuentra en la forma de utilizar los neutrones producidos y es que presenta un diseño con una posición de irradiación que se encuentra en una cavidad de aire rodeada de medio dispersor en una posición convergente respecto a las fuentes de neutrones, que se encuentra en dicho medio dispersor, y en la cual la distribución de flujo posee altos niveles de isotropía.

La aplicación principal del desarrollo de la presente invención es realizar una instalación de irradiación neutrónica hospitalaria para aplicaciones en órganos explantados de la terapia por captura neutrónica en boro, denominado BNCT (Terapia de Captura Neutrónica de Boro).

El canal consiste en una instalación con cinco componentes dispuestos de la siguiente manera: un conjunto de generadores de neutrones que están contenidos en regiones conversoras; las regiones conversoras se encuentran dentro de una región moderadora/reflectora y/o de una región moderadora, a través de las cuales pueden ser desplazadas; y, finalmente, la cavidad de irradiación que se encuentra contenida en la región moderadora.

INPI Exp.: 20120103259



Trámite: 12152830 PATENTES Importe: \$650.-

Fecha/Hora: 04/09/2012 13:53:44.573

Agente: FERNANDEZ JORGE ANIBAL



(19)

I.N.P.I.
REPUBLICA ARGENTINA

(51)

INT. CL.:

(12)

PATENTE DE INVENCION

MODELO DE UTILIDAD

(22) FECHA PRESENTACION:

(30) DATOS PRIORIDAD:

(41) FECHA PUBLICACION SOLICITUD:
BOLETIN N°:

(61) ADICIONAL A:

(62) DIVISIONAL DE:

(71) SOLICITANTE(S): **Comisión Nacional de
Energía Atómica**

(72) INVENTOR(ES): manuel Leonardo Szejnberg
Gonçalves-Carralves.

(74) AGENTE: 1812

(83) DEPOS. MICROORGANISMOS:

(54) TITULO DE LA INVENCION: CANAL DE IRRADIACIÓN NEUTRÓNICA BASADO EN FUSIÓN NUCLEAR.

(57) RESUMEN:

La presente invención se refiere a un canal de irradiación neutrónica basado en fusión nuclear que tiene como característica novedosa en la forma de producir neutrones que el mismo se encuentra basado en la utilización de dispositivos de fusión de alta producción de flujo neutrónico, mayores a 10^7 n/cm² s, como ser por confinamiento inercial-electrostático (IECF). Otra característica novedosa se encuentra en la forma de utilizar los neutrones producidos y es que presenta un diseño con una posición de irradiación que se encuentra en una cavidad de aire rodeada de medio dispersor en una posición convergente respecto a las fuentes de neutrones, que se encuentra en dicho medio dispersor, y en la cual la distribución de flujo posee altos niveles de isotropía.

La aplicación principal del desarrollo de la presente invención es realizar una instalación de irradiación neutrónica hospitalaria para aplicaciones en órganos explantados de la terapia por captura neutrónica en boro, denominado BNCT (Terapia de Captura Neutrónica de Boro).

El canal consiste en una instalación con cinco componentes dispuestos de la siguiente manera: un conjunto de generadores de neutrones que están contenidos en regiones convertoras; las regiones convertoras se encuentran dentro de una región moderadora/reflectora y/o de una región moderadora, a través de las cuales pueden ser desplazadas; y, finalmente, la cavidad de irradiación que se encuentra contenida en la región moderadora.

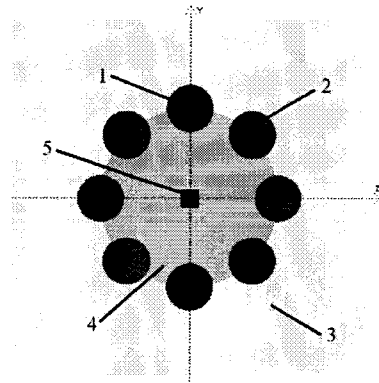


FIGURA MAS REPRESENTATIVA N°1

AR

AEPA
WJ
03/04/13

PRIMER REIVINDICACIÓN

Habiendo descrito y determinado la naturaleza y alcance de la presente invención, y la manera que la misma ha de ser llevada a la práctica, se declara lo que se reivindica como invención y de propiedad exclusiva:

1) Canal de irradiación neutrónica basado en fusión nuclear, que tiene un sistema fuente de alto flujo neutrónico, mayores a 10^7 n/cm² s, una región moderadora/reflectora, formada por un material moderador/reflector que permite que los neutrones retornen a la instalación perdiendo energía y funciona como primer blindaje de dicho canal de irradiación; que contiene a una región moderadora, formada por un material con propiedades de dispersión y absorción para moderar los neutrones a un espectro térmico; y a una cavidad de irradiación que contiene al material a irradiar, caracterizado porque dicho sistema fuente comprende dos o más generadores de neutrones basados en fusión nuclear, dicha cavidad de irradiación se encuentra en una posición convergente respecto a dichos generadores y el canal contiene un sistema de soportes mecánicos del sistema fuente y de la cavidad de irradiación y un sistema de conexión eléctrica de potencia y control.