

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad
Intellectual
Oficina internacional



(43) Fecha de publicación internacional
29 de diciembre de 2010 (29.12.2010)

(10) Número de Publicación Internacional
WO 2010/149801 AI

(51) Clasificación Internacional de Patentes:
G21C 15/28 (2006.01) G21C 1/06 (2006.01)

(21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES20 10/00023 1

(22) Fecha de presentación internacional:
25 de mayo de 2010 (25.05.2010)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:
P20090147 1 22 de junio de 2009 (22.06.2009) ES

(71) Solicitante (para todos los Estados designados salvo US): **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID** [ES/ES]; Calle Ramiro de Maeztu, 7, OTRI - Vicerrectorado de Investigación, Universidad Politécnica de Madrid, E-28040 Madrid (ES).

(72) Inventores; e

(75) Inventores/Solicitantes (para US solamente): **MARTÍNEZ-VAL PEÑALOSA, José María** [ES/ES]; Calle Ramiro de Maeztu, 7, OTRI - Vicerrectorado de Investigación, Universidad Politécnica de Madrid,

E-28040 Madrid (ES). **PIERA CARRETÉ, Mireia** [ES/ES]; Calle Ramiro de Maeztu, 7, OTRI - Vicerrectorado de Investigación, Universidad Politécnica de Madrid, E-28040 Madrid (ES).

(74) Representante común: **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**; Calle Ramiro de Maeztu, 7, OTRI - Vicerrectorado de Investigación, Universidad Politécnica de Madrid, E-28040 Madrid (ES).

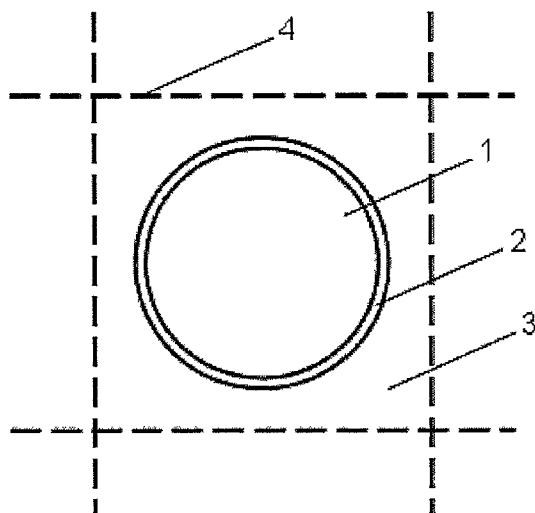
(81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: HETEROGENEOUS NUCLEAR REACTOR WITH BERYLLIUM COMPOUNDS AS COOLANTS

(54) Título : REACTOR NUCLEAR HETEROGÉNEO, CON COMPUESTOS DE BERILIO COMO REFRIGERANTES

Fig 1



(57) Abstract: Heterogeneous nuclear reactor with beryllium compounds as coolants, in which the nuclear fuel is housed in cylindrical sheaths arranged in a regular polygonal reticular structure, the rods occupying the centre of each cell and the remainder of the cell being occupied by a fluid coolant material that contains beryllium, beryllium fluoride being the preferred material, and the side of the reticular polygon being less than the mean free path of the neutrons in said fluid coolant, the arrangement of said coolant having the result that there is no positive feedback between the coolant voids and the power of the reactor.

(57) Resumen: Reactor nuclear heterogéneo, con compuestos de berilio como refrigerantes, en el que el combustible nuclear está alojado en vainas cilíndricas que se disponen con estructura reticular poligonal regular, ocupando las barras el centro de cada retículo, y estando el resto del retículo ocupado por un material refrigerante fluido que contiene berilio, siendo el fluoruro de berilio el material preferente, y siendo el lado del polígono reticular inferior al recorrido libre medio de los neutrones en dicho refrigerante fluido, consiguiéndose con la disposición de dicho refrigerante que no haya realimentación positiva entre los vaciados de refrigerante y la potencia del reactor.



(84) **Estados designados** (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible):
ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, **TJ**, TM), europea (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, **FI**, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, **IT**, **LT**, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, **PT**,

RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, **BJ**, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publicada:

— con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))

REACTOR NUCLEAR HETEROGÉNEO. CON COMPUESTOS DE BERILIO
COMO REFRIGERANTES

SECTOR DE LA TÉCNICA

5 La invención se encuadra en el campo de los reactores nucleares de fisión, y particularmente en los que utilizan el combustible nuclear alojado dentro de vainas de hermeticidad, para mantener el confinamiento de los nucleidos radiactivos producidos en el seno del combustible nuclear, como consecuencia de las reacciones nucleares, particularmente la fisión; y por fuera de las vainas
10 circula un refrigerante para extraer el calor generado en el interior del combustible.

 Se denomina precisamente reactor heterogéneo al que separa el combustible de los otros materiales, notoriamente el imprescindible refrigerante, mediante una disposición estructural que esquemáticamente se basa en
15 disponer el combustible en barras que se introducen en el interior de vainas, agrupando una pluralidad de estas barras envainadas en un conjunto de geometría estable mediante su alojamiento en pies y cabezales en sus extremos, y rejillas espadadoras cada cierto trecho.

 El reactor nuclear está formado por una agregación de conjuntos como
20 los descritos, que a su vez mantienen su geometría por los elementos estructurales generales del reactor, que además alojan a los elementos de control. Una parte importante de la estructura la forman los dispositivos de canalización del movimiento del refrigerante; pero lo sustantivo del reactor lo constituye el llamado núcleo del reactor, que es el volumen ocupado por el
25 conjunto total de las barras de combustibles nuclear, más su refrigerante que las rodea y refrigera. Según las características nucleares de los constituyentes del combustible (que pueden ser isótopos de uranio, plutonio, torio y otros actínidos) y de los componentes del refrigerante, se obtienen prestaciones muy diversas en la explotación de la energía potencial de la materia prima nuclear,
30 que básicamente son los isótopos naturales de uranio y torio.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

 Existe una amplia variedad de reactores en explotación comercial, y muchos otros tipos han sido o están siendo ensayados como unidades
35 experimentales, sobre lo cual existe muy abundante bibliografía, entre la que

puede señalarse el libro "Reactores nucleares" (ISBN: 84-7484-1 19-4) cuyos autores son los solicitantes de esta invención.

Un tipo de reactor de gran interés es el de espectro neutrónico rápido, en el cual se puede producir el fenómeno denominado "reproducción nuclear" (de "nuclear breeding" en inglés) por el cual los núcleos de uranio 238 (U-238) se convierten en núcleos de plutonio 239 (Pu-239) que son muy fácilmente fisionables por los neutrones libres del reactor, liberando mucha energía, lo cual permitiría explotar eficientemente las grandes cantidades de U-238 existentes en la naturaleza, lo cual no puede hacerse en los reactores convencionales actuales, que fundamentalmente son reactores térmicos refrigerados por agua (H₂O). Análogamente, el fenómeno de la reproducción permitiría explotar las cantidades, mayores aún, de torio natural, que es todo él Th-232, y que por el fenómeno de "reproducción nuclear" pasa a U-233, que es también fácilmente fisionable con neutrones.

La reproducción nuclear se ha conseguido con reactores rápidos refrigerados por metal fundido, particularmente sodio, lo cual dio origen en Francia a la línea de reactores "Phenix- Superphenix", que evidenció ciertos problemas relacionados con la inestabilidad de funcionamiento debida a la realimentación positiva entre los huecos o vaciados del sodio fundido (por ebullición o por pérdida de bombeo) y la potencia nuclear generada. Esta inestabilidad proviene de que el sodio tiene una apreciable capacidad de captura neutrónica, lo cual se mide, como toda capacidad de reacción nuclear, por el valor de su "sección eficaz", en este caso, de captura neutrónica (SECN) que se mide en barnios. Cuanto mayor es la SECN, mayor es la apetencia de ese núcleo atómico por los neutrones libres, y más merma produce en esta población.

Al desaparecer parte del sodio fundido, disminuye el número de neutrones que desaparecen por captura neutrónica, lo cual incrementa la población neutrónica libre, y hace más reactivo el reactor, es decir, se incrementa su producción de potencia térmica; lo cual a su vez provoca mayor ebullición en el sodio, que va desapareciendo del núcleo del reactor, lo que a su vez aumenta la población neutrónica libre, y por ende se incrementa la reactividad de la reacción en cadena del reactor, y por ende aumenta aún más la potencia generada, lo cual puede provocar un gravísimo accidente en el reactor.

Esta realimentación positiva viene además estimulada porque al desaparecer parcial o totalmente el sodio del reactor, el espectro neutrónico, es decir, la velocidad de los neutrones libres, se incrementa, lo cual también tiene influencia positiva en la reactividad. Esa consecuencia se debe a que los neutrones pierden velocidad en sus choques contra los núcleos atómicos, y tanto más pierden cuanto menor es la masa atómica, o número A, del núcleo en cuestión. Como el sodio tiene un valor de A de 23, en sus choques contra núcleos de sodio (Na-23) los neutrones pierden más energía que en sus choques contra el U-238, por ejemplo.

El efecto de la pérdida de velocidad neutrónica, que se llama moderación en el léxico especializado, se mide por dos parámetros: la sección eficaz de dispersión elástica (SEDE) que como toda sección eficaz se mide en barnios, y la ganancia media de letargía por colisión (GMLC) que depende del número A (y no tiene unidades pues es adimensional). Cuanto mayores sean estos valores, mayor es el poder de moderación neutrónica de los núcleos que hacen de blanco en el choque, aunque el efecto exacto depende además de la distancia ocupada por el material en cuestión. Si ésta es menor que el recorrido libre medio de moderación (RLMM) de los neutrones en ese medio, el efecto de moderación es poco relevante. Estas cuestiones cuantitativas también habrán de considerarse al formular la invención, siendo fundamental señalar lo importante que resulta identificar qué opciones puede haber para mitigar la cuestión expuesta de la realimentación positiva entre los huecos en el refrigerante (sodio fundido, en el caso citado) y la potencia del reactor.

El problema a resolver, pues, es encontrar un montaje de materiales y configuración que eviten dicha realimentación positiva.

Para entender y justificar la invención propuesta, se exponen a continuación ciertos valores de magnitudes relevantes en la interacción de los neutrones con diversos materiales, en lo cual se ha hecho una gran selección previa, por lo que los datos sólo se refieren al berilio (que es todo él Be-9, pues sólo tiene este isótopo natural) y el flúor (todo él F-19), más el sodio (Na-23) que se toma como referencia. En la tabla a continuación se dan para los tres nucleidos mencionados, sus valores de GMLC (ganancia media de letargía por colisión; adimensional) SEDE (sección eficaz de dispersión elástica; en barnios) RLMM (recorrido libre medio de moderación, en centímetros) y SECN (sección

eficaz de captura neutrónica; en barnios), correspondiendo este último valor a neutrones de 100 electrón-voltio, que es una energía representativa del caso.

Nucleido	GMLC	SEDE	RLMM	SECN
Be-9	0,21	6	4	0,0001
F-19	0,10	3,5	3,35	0,0002
Na-23	0,086	2	32	0,01

5 Puede apreciarse, de manera muy señalada, que el Be-9 y el F-19 tienen valores muy bajos de SECN, del orden de la centésima parte del Na-23. Esto es especialmente útil para minimizar el efecto de realimentación positiva entre la desaparición de refrigerante y el aumento de la potencia del reactor, a través del aumento de la población neutrónica libre, cuando se produce la desaparición de refrigerante.

10 Existe además otro fenómeno nuclear a favor del uso del Be-9 como componente del refrigerante, y es la multiplicación neutrónica. Esta multiplicación, que es la base de la reacción en cadena, tiene lugar esencialmente a través de las fisiones en los nucleidos del combustible nuclear, pero todos los nucleidos, en mayor o menor medida, experimentan multiplicación neutrónica a través de la reacción denominada (n,2n) en la cual el nucleido blanco captura un neutrón, e inmediatamente emite dos. La cuestión es que esto no ocurre con neutrones incidentes de cualquier energía, sino sólo para neutrones suficientemente energéticos (lo cual se mide en millones de electrón-voltios, cuyo símbolo es MeV). Hay una energía del neutrón incidente, llamada energía umbral (EU) por debajo de la cual la reacción (n,2n) es imposible, o irrelevante, en ese nucleido. Por encima de EU, la sección eficaz de esa reacción (SEN2N) marca la capacidad del nucleido para realizar esa reacción, y cuanto más alto es el valor de SEN2N, mayor multiplicación de neutrones.

25 En la tabla siguiente se dan los datos de la EU (en MeV) y de SEN2N (en barnios) para los tres nucleidos que nos ocupan

Nucleido	EU	SEN2N
Be-9	2,5	0,50

F-19	13	0,07
Na-23	15	0,07

Se aprecia que el Be-9 tiene una mucho mayor capacidad de multiplicación neutrónica que el Na-23, lo cual significa que, si desaparece el Be que formara parte del refrigerante del reactor, se pierde un nucleido importante para la multiplicación neutrónica, lo cual tiene un efecto de realimentación negativa, y por tanto estabilizante, en la reactividad y la potencia del reactor.

Se ha de señalar además que en el pasado se propusieron tipos de reactor basados en sales fundidas que actuaran a la vez como combustibles y refrigerantes, pues la sal fundida alcanzaría la masa crítica cuando ocupara todo el volumen de la vasija del reactor, y el calor generado en su seno sería transportado por la propia sal fuera de esa vasija, y cedido a otro fluido en un intercambiador de calor, tal como esa porción de sal siguiera circulando. Una sal utilizable en este tipo de reactores es el sulfato de uranilo ($\text{SO}_4(\text{UO}_2)_2$) pero el sistema tiene el extraordinario inconveniente de que los productos radiactivos aparecen en la propia sal fundida, lo que vulnera el principio esencial de seguridad, que es el confinamiento de la radiactividad. Cabe señalar que también se ha propuesto como sal a mezclar con las sales de combustible, las mezclas tipo FLIBE (así llamadas en el léxico especial) que en realidad son mezclas del fluoruro de litio (FLi) y del fluoruro de berilio (F_2Be). El FLi se usa para producir tritio, útil para los reactores de fusión, pues es el resultado de la captura neutrónica en el Li-6; pero esto es inútil y contraproducente para la idea de estabilizar el comportamiento de los reactores nucleares de fisión, gracias a evitar la realimentación positiva entre los vaciados de refrigerante y la potencia del reactor, que se agrava cuando se introduce un nucleido con alta sección eficaz de captura neutrónica, como es el Li-6.

Por otro lado, el FLi tiene un punto de fusión de 845 grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) y un punto de ebullición de 1676°C ; mientras que el F_2Be tiene esos puntos en 554°C y 1169°C respectivamente. Es decir, este último puede actuar como sal fundida en temperaturas alrededor de 600°C , que son aceptables para refrigerar vainas metálicas de confinamiento del combustible nuclear, y por supuesto vainas cerámicas.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La invención consiste en constituir el reactor como una agregación de barras cilíndricas de combustible nuclear, sea cual sea la composición de éste, envainadas cada barra en una vaina de material sólido termorresistente a 1.000
5 °C, constituyendo cada barra la unidad reticular del núcleo del reactor, que puede corresponder, como unidad o retículo, a una sección recta triangular, cuadrada, pentagonal o hexagonal, coincidiendo el centro de la barra con el centro geométrico del retículo poligonal, y estando ocupado el espacio del retículo exterior a la vaina por un material en estado fluido que contiene berilio
10 entre sus componentes; pudiendo ser este material una aleación metálica fundida, una sal fundida, u otro compuesto de diversa naturaleza química; y circula a lo largo de las vainas de las barras de combustible, impulsado por las bombas correspondientes.

Como elección preferente para dicho material refrigerante, la invención
15 identifica el fluoruro de berilio, de fórmula química F_2Be , trabajando a temperaturas por encima de 555 °C, y por debajo (en realidad, muy por debajo) de 1.000 °C, siendo el rango ideal de temperaturas el que va de 580 °C en la entrada del F_2Be al núcleo del reactor, a 620 °C a la salida del mismo.

El núcleo del reactor, constituido por una agregación vertical de barras
20 de combustible envainadas y dispuestas según la estructura reticular poligonal escogida, se aloja en una vasija sólida que mantiene la integridad estructural del conjunto y conduce al refrigerante líquido en su paso por el reactor, y conecta su circuito fluido con el sumidero exterior de calor, donde el F_2Be transfiere a otro fluido la energía térmica extraída del reactor; siendo lo particularmente distintivo
25 de la invención el uso de un material líquido que tenga berilio como componente químico, como refrigerante del reactor, y llenando este material líquido, que preferentemente es F_2Be , todo el volumen, no ocupado por la barra de combustible y su vaina, de la estructura reticular elemental que constituye el núcleo del reactor.

30 El tamaño de las barras, en diámetro y en altura, dependerá de las características del combustible nuclear usado, pero como indicación preferente se puede citar que el diámetro ha de estar entre 0,4 centímetros y 1,5 centímetros; y la altura entre 1 metro y 5 metros. Por debajo del límite menor del diámetro, es muy difícil asegurar su integridad, por esbeltez excesiva; y por
35 encima del valor máximo, la extracción del calor resulta ineficiente, por lo que la

temperatura interior sube demasiado. El tamaño total de la unidad reticular elemental vendrá dado porque la fracción de volumen ocupada por el combustible (más su vaina) estará entre el 1% y el 99% del total del retículo, estando el resto ocupado por el fluido refrigerante; y dando como dato de

5 tamaño preferente del retículo que su lado poligonal reticular sea menor que el recorrido libre medio de moderación de los neutrones, definido éste como el inverso de la suma de los productos, para cada nucleido constituyente del material fluido refrigerante, del valor medio de la sección eficaz de dispersión elástica por la concentración volumétrica de núcleos de dicho nucleido, en dicho

10 material fluido.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

A continuación se pasa a describir de manera muy breve unos dibujos que ayudan a comprender mejor la invención y que se relacionan expresamente con una realización de dicha invención que se presenta como un ejemplo no

15 limitativo de ésta.

La figura 1 muestra la unidad reticular en una disposición cuadrada, siendo la línea discontinua el límite virtual del retículo.

La figura 2 muestra una agregación de barritas de combustible, configurando un conjunto de retículos, que se disponen solidariamente para su

20 mejor manejo.

La figura 3 muestra la unidad reticular en una disposición hexagonal, siendo de nuevo la línea discontinua el límite virtual del retículo.

Se debe señalar que estas disposiciones son totalmente convencionales, como también lo serían el retículo triangular o el pentagonal, y tan sólo se

25 representan aquí para hacer más comprensible la descripción de la invención, que hace referencia al material a emplear como refrigerante, y al tamaño del retículo.

DESCRIPCIÓN DE UNA REALIZACIÓN PREFERIDA DE LA INVENCION

Para facilitar la comprensión de las materializaciones preferentes de la invención, a continuación se relacionan los elementos relevantes de la misma, que aparecen en las figuras:

30

1. Barrita de combustible nuclear.

2. Vaina hermética que contiene al combustible nuclear.
3. Material refrigerante fluido.
4. Límite virtual del retículo cuadrado estructural de barras, cuya agregación en número adecuado constituye el núcleo del reactor nuclear.
- 5 5. Elemento estructural, complementado con cabezales, pies, rejillas y otros elementos, no relevantes para la invención, que confieren rigidez estructural al conjunto de barras y vainas, manteniendo fija la geometría reticular.
- 10 6. Límite virtual del retículo hexagonal estructural de barras, cuya agregación en número adecuado constituye el núcleo del reactor nuclear.

Partiendo de la disposición general de un reactor heterogéneo, la invención se concreta en usar un refrigerante que esté en estado líquido, y tenga alto contenido en berilio. Aunque hay aleaciones metálicas que pueden contener ciertas cantidades de berilio, éstas implican la introducción de unos nucleidos

15 (particularmente cobre, con el que se alea bien el Be) que tienen secciones eficaces de captura neutrónica muy apreciables. Para conseguir el objetivo último de la invención, que es eliminar la realimentación positiva entre vaciados de refrigerante y la potencia del reactor, esas opciones con nucleidos

20 fundidos que introducen, igualmente, nucleidos con alta sección eficaz de captura, como es el cloro (en particular, su isótopo Cl-35, que es el más abundante). Aunque el Cl_2Be tiene un punto de fusión inferior al del F_2Be , pues es de 398 °C en vez de 554 °C, y eso facilitaría su uso como refrigerante, la

25 sección eficaz de captura de neutrones de 100 electrón-voltio por parte del Cl-35 es de 0,2 barnios, es decir, 20 veces superior a la del Na-23, y 2.000 veces superior a la del Be-9.

Como consecuencia de la adecuación de las propiedades nucleares y térmicas al objetivo buscado, la invención se materializa preferentemente con el fluoruro del berilio, F_2Be , que tiene un rango de funcionamiento en temperaturas

30 aceptable para un reactor nuclear, y que contiene a los dos nucleidos de menor sección eficaz de captura neutrónica, de los que pueden constituir un material líquido o fundido con importante presencia de berilio.

Para el dimensionado del retículo, se ha de tener en cuenta que, sumando los efectos del F y del Be_1 el RLMM del F_2Be es de 1,8 centímetros, lo

que es perfectamente compatible con las dimensiones de las barras del combustible nuclear y el retículo en el que se acogerían. Si como valor del diámetro exterior de las vainas se toma 1 centímetro (cm), que es una medida muy acorde con el estado de arte, la sección recta ocupada por la barra más la vaina tiene una superficie de $0,7854 \text{ cm}^2$. Si se fija que esa sección debe ser el 60% de la sección recta total del retículo elemental, éste ocupa $1,31 \text{ cm}^2$. Si el retículo es cuadrado, el lado del cuadrado es la raíz cuadrada de este último valor, lo que da 1,14 cm, que es notoriamente inferior al RLMM antedicho, de 1,8 cm. En este caso, el paso del retículo, o distancia entre centros de barras, coincide con el lado del cuadrado, lo que significa que hay una separación mínima de 0,14 cm entre barras vecinas.

Si se adopta un retículo hexagonal regular, el lado del hexágono de la unidad reticular es de 0,71 cm, lo que significa que su apotema es 0,615 cm; y la distancia entre centros de barras vecinas es de 1,23 cm, algo superior al retículo cuadrangular. Sin embargo, en este caso cada barra tiene 6 barras vecinas, y en el caso cuadrangular, sólo 4. Cualquiera de las dos distribuciones reticulares es aceptable, si bien la hexagonal tiene una mayor uniformidad en la distribución del refrigerante alrededor de cada barra.

El caudal necesario para extraer el calor generado dentro del reactor se hace posible merced a la potencia de bombeo de las bombas de circulación de la sal fundida, que vencen la pérdida de carga manométrica que sufre el fluido a su paso por los diversos elementos de su circuito, y particularmente por el núcleo del reactor. Según la altura de las barras de combustible, esta pérdida de carga será mayor o menor, pero en todo caso es un problema superable con la adecuada potencia de bombeo del F_2Be .

Una vez descrita de forma clara la invención, se hace constar que las realizaciones particulares anteriormente descritas son susceptibles de modificaciones de detalle siempre que no alteren el principio fundamental y la esencia de la invención.

REIVINDICACIONES

- 1 - Reactor nuclear heterogéneo, con compuestos de berilio como refrigerantes, estando el reactor constituido por una agregación de barras cilíndricas de combustible nuclear, sea cual sea la composición de éste, envainadas cada
- 5 barra en una vaina de material sólido termorresistente a 1.000 °C, constituyendo cada barra la unidad reticular del núcleo del reactor, que puede corresponder, como unidad o retículo, a una sección recta triangular, cuadrada, pentagonal o hexagonal, coincidiendo el centro de la barra con el centro geométrico del retículo poligonal, **caracterizado** porque el espacio del retículo
- 10 exterior a la vaina está ocupado por un material refrigerante en estado fluido que contiene berilio entre sus componentes; pudiendo ser este material una aleación metálica fundida, una sal fundida, u otro compuesto de diversa naturaleza química; y circula a lo largo de las vainas de las barras de combustible, impulsado por las bombas correspondientes.
- 15 2 - Reactor nuclear heterogéneo, con compuestos de berilio como refrigerantes, según reivindicación 1, **caracterizado** porque el tamaño total de la unidad reticular elemental está dado porque la fracción de volumen ocupada por el combustible (más su vaina) está entre el 1% y el 99% del total del retículo, estando el resto ocupado por el fluido refrigerante.
- 20 3 - Reactor nuclear heterogéneo, con compuestos de berilio como refrigerantes, según reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el tamaño total de la unidad reticular elemental está determinado porque su lado poligonal reticular es menor que el recorrido libre medio de moderación de los neutrones, definido éste como el inverso de la suma de los productos, para cada nucleido constituyente
- 25 del material refrigerante, del valor medio de la sección eficaz de dispersión elástica por la concentración volumétrica de núcleos de dicho nucleido, en dicho material refrigerante.
- 4 - Reactor nuclear heterogéneo, con compuestos de berilio como refrigerantes, según reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque dicho material
- 30 refrigerante es fluoruro de berilio, de fórmula química F_2Be , trabajando a temperaturas por encima de 555 °C, y por debajo de 1.000 °C, siendo el rango idóneo de temperaturas el que va de 580 °C en la entrada del F_2Be al núcleo del reactor, a 620 °C a la salida del mismo.

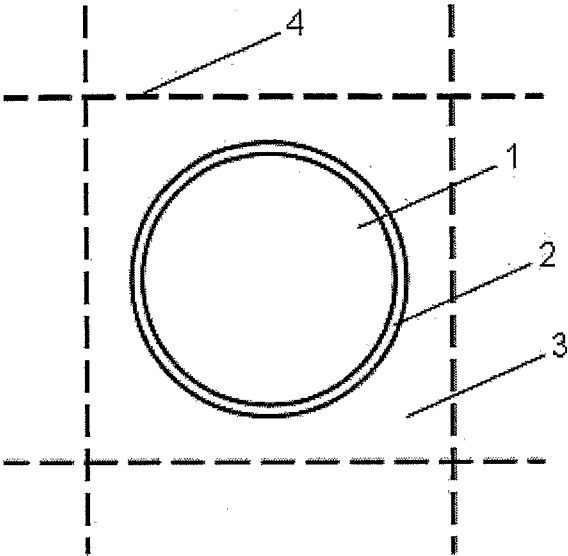


Figura 1

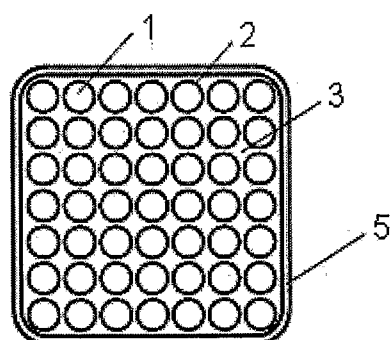


Figura 2

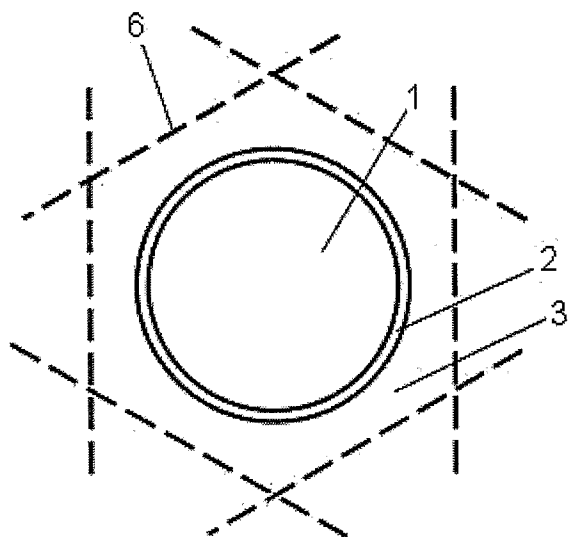


Figura 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ ES 2010/000231

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

see extra sheet

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G21C15/28, G21C1/06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

INVENES ,EPODOC,WPI

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	GB 979937 A (NUCLEAR MATERIAL & EQUIPMENT) 06.01.1965, page 3, lines 79-123; figure 1a	1
A	GB 883768 A (EXXON RESEARCH ENGINEERING CO) 06.12.1961, page 2, line 130 - page 3, line 56; page 4, lines 16-18; figure 1,	1
A	GB 1029837 A (BABCOCK & WILCOX LTD.) 18.05.1966, the whole document	1
A	GB 1256874 A (UNITED KINGDOM ATOMIC ENERGY AUTHORITY)15. 12.1971, page 4, lines 33-45	1

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C

☒ See patent family annex

* Special categories of cited documents.

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T"

later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&"

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23.August.2010 (23.08.2010)

Date of mailing of the international search report

(30/08/2010)

Name and mailing address of the ISA/
O.E.P.M.

Paseo de la Castellana, 75 28071 Madrid, España

Facsimile No 34 91 3495304

Authorized officer

R. San Vicente Domingo

Telephone No 913498525

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/ ES 2010/000231

Patent document cited in the search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
GB 979937 A	06.01.1965	BE 616884 A FR 1327306 A US 3105036 A DE 1279224 B	16.08.1962 17.05.1963 24.09.1963 03.10.1968 03.10.1968
GB 883768 A	06.12.1961	FR 1239510 A	26.08.1960
GB 1029837 A	18.05.1966	NL 282483 A BE 621739 A FR 1332393 A	00-00-0000 00-00-0000 12.07.1963 12.07.1963 12.07.1963
GB 1256874 A	15.12.1971	BE 728799 A NL 6902777 A DE 1908908 A FR 2002531 AB SE 348868 B JP 49029558 B	21.08.1969 26.08.1969 18.09.1969 17.10.1969 11.09.1972 05.08.1974

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ ES 2010/000231

CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G21C 15/28 (2006.01)

G21C 1/06 (2006.01)

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional N°

PCT/ ES 2010/000231

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

Ver hoja adicional

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G21C15/28, G21C1/06

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda internacional (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES ,EPODOC,WPI

C DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones N°
A	GB 979937 A (NUCLEAR MATERIAL & EQUIPMENT) 06.01.1965, página 3, líneas 79-123; Figura 1a	1
A	GB 883768 A (EXXON RESEARCH ENGINEERING CO) 06.12.1961, página 2, línea 130 - página 3, línea 56; página 4, líneas 16-18;figura 1,	1
A	GB 1029837 A (BABCOCK & WILCOX LTD.) 18.05.1966, todo el documento	1
A	GB 1256874 A (UNITED KINGDOM ATOMIC ENERGY AUTHORITY)15. 12.1971, página 4, líneas 33-45	1

☐ En la continuación del Recuadro C se relacionan otros documentos

☒ Los documentos de familias de patentes se indican en el Anexo

* Categorías especiales de documentos citados:	"T"	documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención
"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante		
"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior	"X"	documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado
"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada)	"Y"	documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia
"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio		
"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada	"&"	documento que forma parte de la misma familia de patentes

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.

23.Agosto.2010 (23.08.2010)

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional

30-AGOSTO-2010 (30/08/2010)

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional O.E.P.M.

Paseo de la Castellana, 75 28071 Madrid, España

N° de fax 34 91 3495304

Funcionario autorizado

R. San Vicente Domingo

N° de teléfono 913498525

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Información relativa a miembros de familias de patentes

Solicitud internacional N°

PCT/ES 2010/000231

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de Publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de Publicación
GB 979937 A	06.01.1965	BE 616884 A FR 1327306 A US 3105036 A DE 1279224 B	16.08.1962 17.05.1963 24.09.1963 03.10.1968 03.10.1968
GB 883768 A	06.12.1961	FR 1239510 A	26.08.1960
GB 1029837 A	18.05.1966	NL 282483 A BE 621739 A FR 1332393 A	00-00-0000 00-00-0000 12.07.1963 12.07.1963 12.07.1963
GB 1256874 A	15.12.1971	BE 728799 A NL 6902777 A DE 1908908 A FR 2002531 AB SE 348868 B JP 49029558 B	21.08.1969 26.08.1969 18.09.1969 17.10.1969 11.09.1972 05.08.1974

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional N°

PCT/ ES 2010/000231

CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

G21C 15/28 (2006 01)

G21C 1/06 (2006.01)