

(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 037238 A1

(41) Fecha de Publicación:

03.11.2004

(51) Int. Cl:

G21C19/33;

(12)

Solicitud de Patente Independiente

(21) No de Solicitud: **P020103592**

(71) Solicitantes: **COMISION NAC DE EN ATOMICA**

(22) Fecha de Solicitud: **25.09.2002**

(72) Inventor/es:

(30) Prioridad/es: **2002P103592 AR 25.09.2002**

(54) **Título:**

PROCEDIMIENTO PARA INMOVILIZAR ELEMENTOS RADIOACTIVOS

(57) **Resumen:**

La presente se refiere a un procedimiento para inmovilizar elementos radioactivos. El procedimiento de la presente, se basa en la ceramización con uranio sinterizado, donde no se agrega vidrio y que consiste en mezclar el material obtenido del pre-tratamiento del combustible con óxido de uranio de composición isotópica igual o menor a la natural, y luego sinterizar esa mezcla, obteniendo un bloque cerámico monolítico con propiedades adecuadas para la disposición final del mismo en un repositorio geológico profundo. El procedimiento de la presente consta de las siguientes etapas: separación del aluminio mediante procesos mecánicos, calcinado previo, molienda previa, calcinado, mezclado, molienda, prensado y sinterizado.

Un uso del procedimiento para inmovilizar elementos radioactivos de la presente, es en los elementos radioactivos contenidos en los combustibles agotados provenientes de reactores nucleares de investigación.



HOJA TECNICA



(19)

I.N.P.I.
REPUBLICA ARGENTINA

(10) PUBLICACION N°: AR

(21) SOLICITUD N°:

(51)

INT. CL.:

G 21 C 18 / 33

P 020103592

(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): RUSSO, Diego Osvaldo
RODRIGUEZ, Diego S. - STERBA, Mario E. -
HEREDIA, Arturo D. - SANFILIPPO, Miguel -
PRASTALO, Simón

(74) AGENTE:

(83) DEPOS. MICROORGANISMOS:

(54) TITULO DE LA INVENCION:

PROCEDIMIENTO PARA INMOVILIZAR ELEMENTOS RADIOACTIVOS

(57) RESUMEN: La presente invención se refiere a un procedimiento para inmovilizar elementos radioactivos.

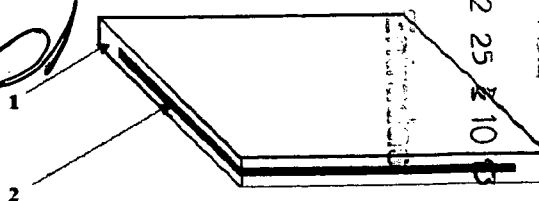
El procedimiento de la invención, se basa en la ceramización con uranio sinterizado, donde no se agrega vidrio y que consiste en mezclar el material obtenido del pre-tratamiento del combustibles con óxido de uranio de composición isotópica igual o menor a la natural, y luego sinterizar esa mezcla, obteniendo un bloque cerámico monolítico con propiedades adecuadas para la disposición final del mismo en un repositorio geológico profundo.

El procedimiento de la invención consta de la siguientes etapas: Separación del aluminio mediante procesos mecánicos, Calcinado previo, Molienda previa, Calcinado, Mezclado, Molienda, Prensado y Sinterizado.

Un uso del procedimiento para inmovilizar elementos radioactivos, de la invención, es en los elementos radioactivos contenidos en los combustibles agotados provenientes de reactores nucleares de investigación.

FIGURA MAS REPRESENTATIVA N° 2:

17/11/3 APT



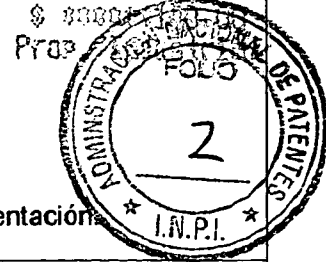
AR

N.P.I.
Mesa Dia
SET 02 25 2 10

REPUBLICA ARGENTINA
(AR)

Secretaría de Coordinación
Administ. Legal y Técnica
Delegación DSA TESORERIAS

TIN: 04 GPE: 19
Nr: 00460659
RUB: 262



PATENTE DE INVENCIÓN: ☒
CERTIFICADO DE MODELO DE UTILIDAD: ☐

Fecha de presentación

I. SOLICITANTE(S):

Acta N°

P 020103592

1) Apellido y Nombre/Denominación o Razón Social:

Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)

2) Documento de Identidad:

Estado Civil

Nupcias:

Nombre del Cónyuge:

3) Caja de Jubilación o AFJP:

N° de CUIT o CUIT: **30-54606021-0** IVA:

4) Inscripto en el Registro Industrial de la Nación (Decreto-Ley 19.971/72) N°

5) Domicilio Real: Av. del Libertador N° 8250, Capital Federal, República Argentina

Légal: el mismo

(1429)

II. Objeto:

6) Título de la Invención: **"PROCEDIMIENTO PARA INMOVILIZAR ELEMENTOS RADIOACTIVOS"**

7) Carácter de la Patente / Modelo de Utilidad:

Definitiva, por el Terminio de: **20** años

Adicional a la Solicitud N° / Patente N°

Divisional de la Solicitud N°

8) Ley 17.011 Fecha de Prioridad:

País
N°

III. Documentación acompañada

9) Se acompaña:

- a) Comprobante pago de servicio requerido
- b) Formulario (ANEXO II) hoja técnica
- c) Carátula

Acta de Trámites

SET 02 25 2 10 13

I.N.P.I.

MINISTERIO DE ECONOMIA
DINAM Y SERV. PUBLICOS
Secretaría de Coordinación
Administ. Legal y Técnica
Delegación DSA TESORERIAS
25/09/02
10:10:13
GRANDES POR
TRAMITES
\$ 33333310.00
Prop. Industrial

- | | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| d) Memoria descriptiva | ☒ |
| e) Reivindicaciones firmadas | ☒ |
| f) Dibujos (Anexo III) | ☒ |
| g) Numero de figuras reducidas | <u>10</u> |
| h) Resumen (Anexo I) | ☒ |
| i) Copia Certificada (Ley 17.011) | ☐ |
| j) Documento de Cesión | ☐ |
| k) Dibujos informales | ☐ |

IV Sociedades

- 10) Sociedad, representada por: Ing. Jorge Aníbal FERNÁNDEZ
-
- quien declara bajo juramento que inviste el carácter de Representante
- que su mandato se encuentra vigente y que la Sociedad se halla inscrita en.....
- Fecha.....N°.....F°.....Lib.....T°.....

V Mandato

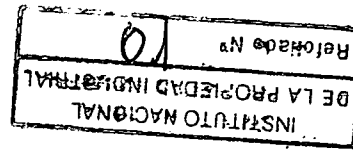
- 11) Poder inscripto en Resolución CNEA N° 60/96.... Registrado en el INPI bajo N°.....
- Otro Registro:..... N°.....
- 12) En este acto, se autoriza a :
- para todas aquellas gestiones de mero tramite tales como practicar desgloses, retirar testimonios, certificados, títulos, copias y notificaciones en el expediente.
- 13) Se acompaña poder: Resolución CNEA N° 60/96 y Autorización INPI ☒.
- 14) Caja jubilación o AFJP..... N° CUIL o CUIT.....
- 15) Agente Nro.

VI Observaciones: Inventores: RUSSO, Diego Osvaldo - RODRIGUEZ, Diego Sebastián - STERBA, Mario Enrique - HEREDIA, Arturo Domingo - SANFILIPPO, Miguel - PRASTALO, Simón

.....
(Firma del autorizado)


.....
(Firma del(los) Solicitante(s) y/o apoderado)

Ing. Jorge Aníbal FERNÁNDEZ
Responsable de Patentes
Comisión Nacional de Energía Atómica



Memoria Descriptiva de la Patente de Invención

denominada

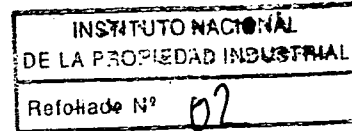
**“PROCEDIMIENTO PARA INMOVILIZAR
ELEMENTOS RADIOACTIVOS”**

Solicitada por

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

Inventores: Diego Osvaldo RUSSO
Diego Sebastián RODRÍGUEZ
Mario Enrique STERBA
Arturo Domingo HEREDIA
Miguel SANFILIPPO
Simón PRASTALO

Por el plazo de 20 años



La presente invención se refiere a un procedimiento para inmovilizar elementos radioactivos, como ser los contenidos en los combustibles agotados provenientes de reactores nucleares de investigación, mediante la ceramización de los elementos radioactivos con Uranio sinterizado.

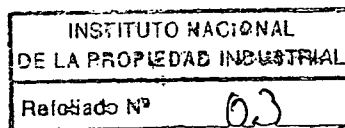
En general, la problemática de la inmovilización de residuos nucleares es compleja y de vital importancia en el ciclo de los combustibles nucleares.

La vitrificación es una alternativa viable, obteniéndose bloques donde los residuos se encuentran homogéneamente distribuidos en el seno del vidrio. La manera de obtener estos bloques puede ser por fundición o sinterización del vidrio, ambos métodos fueron estudiados intensivamente con resultados satisfactorios, siendo las características más importantes de esos bloques, la homogeneidad del bloque y, fundamentalmente, la resistencia a la corrosión acuosa.

Los combustibles de los reactores de investigación están basados en un material combustible que puede ser un óxido una aleación o un compuesto de uranio que se dispersa en una matriz de aluminio. Ese núcleo se empareda (generalmente por colaminación) entre dos placas de aluminio puro, obteniéndose una placa combustible.

Esta presencia de grandes cantidades de aluminio hace que el procesamiento sea más complejo y por ende oneroso. Para la vitrificación de estos tipos de combustibles existen varias alternativas propuestas, que pueden ser enumeradas de forma sucinta, a saber:

- Mediante procesos mecánicos y químicos eliminar todo el aluminio exterior de las placas combustibles y luego inmovilizar el producto – que denominaremos “meat” (con algún tratamiento adicional y mezclado con la cantidad necesaria de un compuesto de uranio natural



o empobrecido para disminuir el enriquecimiento isotópico en U- 235) - en una matriz vítrea.

- Eliminar mediante cizallados y cortes de sectores, el aluminio del marco exterior, pero dejando el resto de aluminio, el cual sigue estando presente en una importante fracción (45%); luego realizar el mismo procedimiento que en el caso anterior: mezclado con un compuesto de uranio natural o empobrecido y vitrificar dicha mezcla.

En ambos casos, la vitrificación se puede llevar a cabo tanto por fusión como por sinterización. Estos métodos implican un incremento de volumen asociado a que hay que agregar una masa importante de uranio y una mayor de vidrio.

La novedad del procedimiento para inmovilizar elementos radioactivos, de la invención, consta en que se basa en la ceramización con uranio sinterizado, donde no se agrega vidrio y que consiste en mezclar el material obtenido del pre-tratamiento del combustibles con óxido de uranio de composición isotópica igual o menor a la natural, con el mismo propósito descrito antes y luego sinterizar esa mezcla, obteniendo un bloque cerámico monolítico con propiedades adecuadas para la disposición final del mismo en un repositorio geológico profundo.

El procedimiento para inmovilizar elementos radioactivos, de la presente invención, consta de la siguientes etapas:

- a) **Separación del aluminio mediante procesos mecánicos.**
- b) **Calcinado previo.**
- c) **Molienda previa.**
- d) **Calcinado.**
- e) **Mezclado con U_3O_8 natural o empobrecido.**
- f) **Molienda.**
- g) **Prensado y sinterizado.**

En una variante de la invención las etapas (b) y (c) pueden ser reemplazadas por una disolución fisicoquímica (por medio de líquidos o gases reactivos o por otro medio idóneo para eliminar el material metálico componente de la vaina y/o del "meat").

En ambos casos se puede prescindir de la etapa (a), comenzando el procedimiento para inmovilizar elementos radioactivos de la presente invención, con la etapa (b).

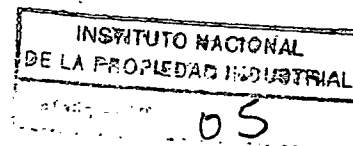
A fin de una mejor comprensión de la presente invención y mayor entendimiento de las ventajas comentadas, más las que los entendidos en la especialidad podrán agregar, se realiza a continuación la descripción detallada del procedimiento para inmovilizar elementos radioactivos de la presente invención. El mismo consta de la siguientes etapas:

Etapla (d) - Separación del aluminio mediante procesos mecánicos: se realiza mediante cortes y cizallados. El material cortado es depositado en recipientes blindados especiales en espera del decaimiento de la radiación.

Etapla (e) -Calcinado previo: Para lograr obtener un polvo que pueda ser sinterizado, se realiza el calcinado del material resultante de la operación anterior en atmósfera de aire u oxidante a temperaturas entre 600°C y 800°C, con el fin de poder fragilizar y cualquier material dúctil remanente, que no haya sido eliminado por los medios mecánicos.

Etapla (f) - Molienda previa: Se muele el material calcinado hasta obtener un polvo pasante por malla de 500 micrómetros.

Etapla (g) - Calcinado: Este calcinado tiene importancia debido al hecho que de esta manera se logra estabilizar y oxidar los polvos, para evitar posteriores reacciones que afecten adversamente la etapa siguiente. La temperatura, la atmósfera y el tiempo de



calcinado depende del tipo de combustible a tratar, variando las temperaturas entre 850°C y 1100°C y los tiempos entre 8 y 12 horas.

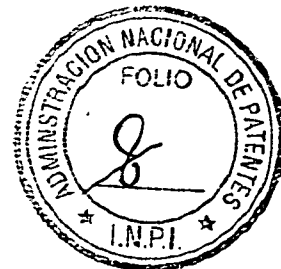
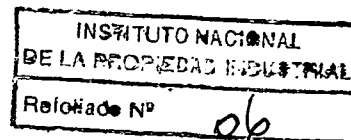
Etapas (h) - Mezclado con U_3O_8 natural o empobrecido: Los polvos obtenidos en la etapa c son mezclados con la cantidad necesaria de polvo de U_3O_8 (natural o empobrecido), como para lograr el enriquecimiento final deseado (1 a 1,5% en peso de U-235). La proporción en la mezcla estará relacionada con el enriquecimiento al final de la vida útil del combustible (grado de quemado)

Etapas (i) - Molienda: Este proceso tiene la finalidad de reducir el tamaño de grano del polvo obtenido en la etapa e hasta unos 100 micrómetros con lo cual se logra una granulometría adecuada para la correcta sinterización.

Etapas (j) - Prensado y sinterizado: Los polvos son luego prensados y los compactos obtenidos son sinterizados. Las condiciones de presión, temperatura y tiempo, se determinan para cada caso particular de combustible a tratar. A modo indicativo, los valores de presiones a emplear son de entre 40 y 100 MPa; las temperaturas de sinterizado están entre 1100°C y 1300 °C y los tiempos varían entre 1 y 4 horas

Las etapas (d) a la (g), son necesarias para el desarrollo del método y no pueden ser reemplazadas.

Variante Etapas (b) y (c): Las etapas (b) y (c) pueden ser reemplazadas por una etapa de disolución fisicoquímica del material de vaina (aluminio u otro metal o aleación). Esta etapa de disolución puede ser realizado por medio de sustancias líquidas o gaseosas reactivas y por cualquier otro proceso físico, químico o fisicoquímico capaz de remover el material



de interés. El material obtenido de este proceso se incorporará en la Etapa (d).

Para mayor aclaración del procedimiento para inmovilizar elementos radioactivos de la presente invención, y la manera que la misma ha de ser llevada a la práctica, se explica a continuación un **primer ejemplo de realización** a través de pruebas de laboratorio con muestras en escala reducida:

Para ello se utilizaron miniplacas combustibles donde el material combustible es siliciuro de uranio natural, con la estructura que se puede observar en los dibujos adjuntos, en los cuales la figura N° 1 muestra una vista superior de una miniplaca y la figura N° 2 muestra el corte longitudinal-transversal parcial de un sector de la misma.

Como se observa en la Figura 1, estas miniplacas poseen la misma estructura que la que corresponde a los elementos combustibles de los reactores de investigación en operación. Las mismas están compuestas por dos láminas (1) de aluminio puro (AL 6066) que contienen en su interior el "meat" (2) y la fabricación se realiza mediante un proceso de laminado en frío.

En el corte longitudinal-transversal parcial A-A, que muestra la figura N° 2, se observa que como resultado queda una especie de "sandwich" siendo las tapas de aluminio puro (1) y el centro es el "meat" (2).

El "meat" es un compuesto de siliciuro de uranio (U_3Si_2) con un enriquecimiento del 19,75% - más un 20% de aluminio en polvo. Luego de ser utilizado en el reactor se quema, en promedio, un 52,5% del uranio 235. Dado que el "meat" queda con un enriquecimiento de, aproximadamente, el 10% en U-235, se lo debe diluir con uranio natural o

empobrecido para lograr un enriquecimiento final del 1 al 1,5 %, el cual sería aceptable desde el punto de vista de la disposición definitiva.

Para una dilución del 1,5% y un quemado del 52,5% la masa de uranio natural por unidad de masa de uranio en la placa es de 10:1.

Etapas (a) - Separación del aluminio mediante procesos mecánicos:

Mediante cortes y cizallados se quitó todo el aluminio del marco donde el largo se redujo a 15 mm y el ancho a 6 mm. El espesor se mantiene inalterado. Aproximadamente el 55% en peso es siliciuro de uranio, el otro 45% corresponde al aluminio en donde parte se encuentra mezclado con el siliciuro y parte con las tapas del sandwich. El peso total de la miniplaca utilizada era de 22,2 gramos.

Etapas (b) - Calcinado previo

Luego del corte, se las calcinó a 700°C durante 2 horas, en aire, con el fin de fragilizar la capa de aluminio para que sea posible la molienda de la próxima etapa. Después del tratamiento térmico el aumento del peso debido a la oxidación fue de aproximadamente el 0,5%.

Etapas (c) - Molienda previa

El material calcinado fue molido en un molino de anillos durante 2 minutos.

Etapas (d) - Calcinado

Se volvió a calcar a 900 °C durante 10 horas

Con el tratamiento de molienda y calcinación se consiguió la estabilización térmica del material.

Etapas (e) - Mezclado con U_3O_8

Luego se mezcló con 225 gramos de polvo de U_3O_8 natural.

Etapas (f) - Molienda

La mezcla se molió durante 5 minutos en molino de anillos. El efecto del U_3O_8 es el de crear un medio que facilita el molido mecánico.

Etapas (g) - Prensado y Sinterizado

El prensado se realizó en un matriz de 25 mm a una presión de 50 MPa. Los compactos, de un peso de 15 gramos cada uno, se sinterizaron a 1250 °C durante 4 horas en aire.

Ensayos efectuados a las muestras

Sobre estos materiales se realizó una caracterización morfológica mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y ensayos de durabilidad utilizando el protocolo MCC-1P.

De las fotografías SEM se observó una buena cohesión de los granos y por consiguiente una densificación apropiada en la temperatura de sinterizado.

Los ensayos de durabilidad dieron resultados satisfactorios, se obtuvieron valores de velocidad de disolución de $6 \times 10^{-6} \text{ g cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, aproximadamente. Éstos son comparables a los residuos nucleares de alta actividad provenientes de los reactores de potencia, vitrificados con vidrios borosilicatos.

Respecto a la variante de la invención las etapas (b) y (c) pueden ser reemplazadas por una disolución fisicoquímica, y la manera que la misma ha de ser llevada a la práctica, se explica a continuación un **segundo ejemplo de realización** a través de pruebas de laboratorio con muestras en escala reducida:

Para ello se utilizaron mismas miniplacas combustibles mencionadas para el primer ejemplo de realización y se realizaron las siguientes etapas:

Etapas (a) - Separación del aluminio mediante procesos mecánicos:

se realizó de la misma forma que el primer ejemplo de realización

Etapas (b) - Disolución fisicoquímica: Luego del corte, se sometió al material a un ataque químico con una solución de hidróxido de sodio (concentración 5 molar) durante 4 horas.

Luego se realizó, lo siguiente:

Etapas (d) - Calcinado

Se seca el material de la etapa anterior y se lo calcinó a 900 °C durante 10 horas

Etapas (e) - Mezclado con U_3O_8

Luego se mezcló con 225 gramos de polvo de U_3O_8 natural.

Etapas (f) - Molienda

La mezcla se molió durante 5 minutos en molino de anillos. El efecto del U_3O_8 es el de crear un medio que facilita el molido mecánico.

Etapas (g) - Prensado y Sinterizado

El prensado se realizó en un matriz de 25 mm a una presión de 50 MPa. Los compactos, de un peso de 15 gramos cada uno, se sinterizaron a 1250 °C durante 4 horas en aire.

Ensayos efectuados a las muestras

Al igual que con el material del primer ejemplo, se realizó una caracterización morfológica mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y ensayos de durabilidad utilizando el protocolo MCC-1P.

Los resultados fueron totalmente equivalentes a los obtenidos mediante el proceso descrito en el primer ejemplo.

Siguen 12 reivindicaciones en página 10.

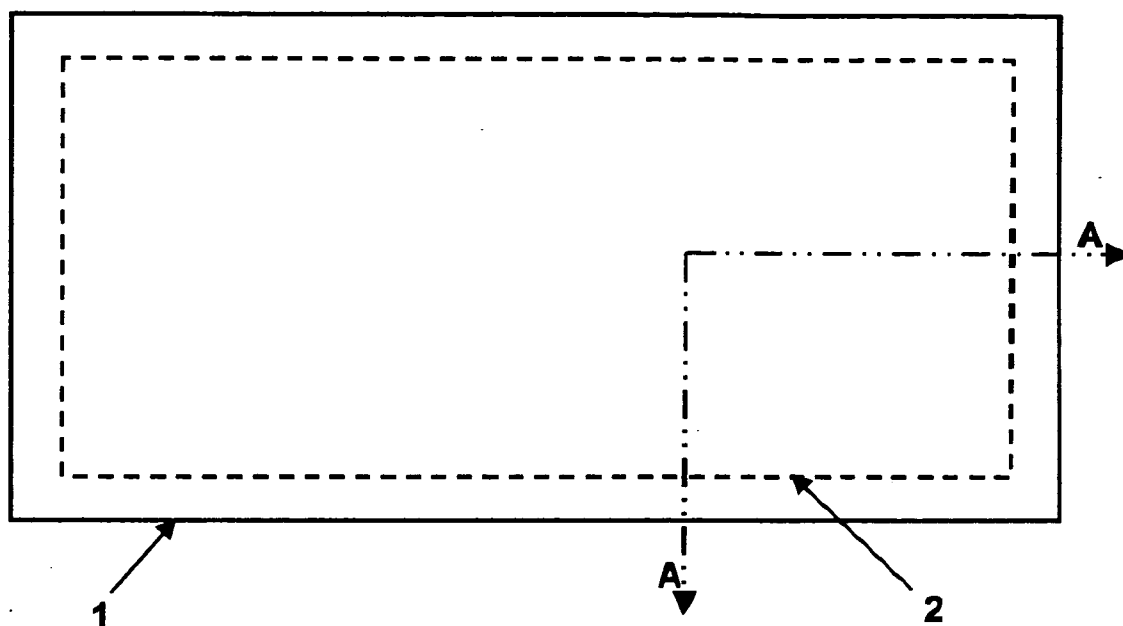


Figura 1

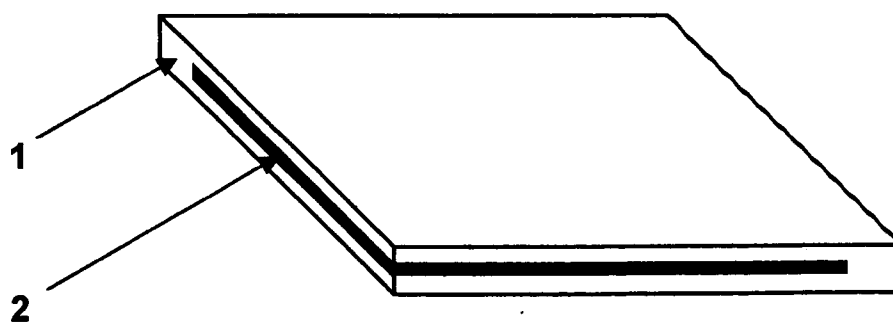
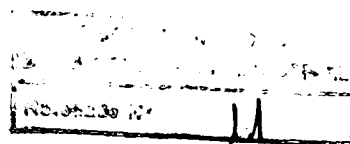


Figura 2



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. Procedimiento para inmovilizar elementos radioactivos, caracterizado por comprender, por lo menos, las siguientes etapas:

Etapas (d) - Calcinado.

Etapas (e) - Mezclado con U_3O_8 natural o empobrecido

Etapas (f) - Molienda.

Etapas (g) - Prensado y sinterizado: Los polvos son prensados y los compactos obtenidos son sinterizados.

2. Procedimiento para inmovilizar elementos radioactivos, según la reivindicación 1, caracterizado porque previo a dicha etapa de Calcinado se realizan por lo menos, las siguientes etapas:

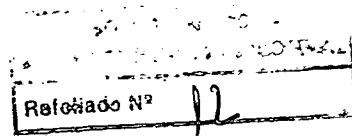
Etapas (b) - Calcinado previo: se realiza el calcinado del material ó elemento radioactivo en atmósfera de aire u oxidante.

Etapas (c) - Molienda previa: Se muele el material calcinado.

3. Procedimiento para inmovilizar elementos radioactivos, según la reivindicación 2, caracterizado porque dicha etapa de Calcinado (d) se realiza a temperaturas entre 850°C y 1100°C.

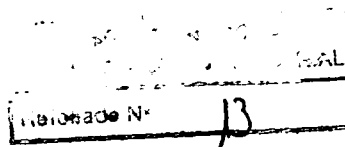
4. Procedimiento para inmovilizar elementos radioactivos, según la reivindicación 3, caracterizado porque dicha etapa de Calcinado (b) previo se realiza a temperaturas entre 600°C y 800°C.

5. Procedimiento para inmovilizar elementos radioactivos, según la reivindicación 4, caracterizado porque en dicha etapa de Molienda previa (c) se muele el material calcinado hasta llegar a un diámetro medio de partícula menor que 500 μm y en dicha etapa de Molienda (f)



se reduce el tamaño de grano hasta un valor menor que 150 micrómetros.

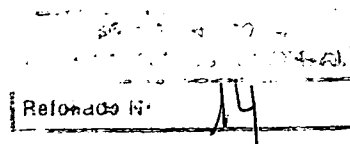
6. Procedimiento para inmovilizar elementos radioactivos, según la reivindicación 1, caracterizado porque previo a dicha etapa de Calcinado (d) se realiza al menos la etapa de Disolución fisicoquímica.
7. Procedimiento para inmovilizar elementos radioactivos, según la reivindicación 6, caracterizado porque dicha etapa de Calcinado se realiza a temperaturas entre 850°C y 1100°C.
8. Procedimiento para inmovilizar elementos radioactivos, según la reivindicación 7, caracterizado porque en dicha etapa de Disolución fisicoquímica se sometió al material a un ataque químico.
9. Procedimiento para inmovilizar elementos radioactivos, según cualquiera de las reivindicaciones 5 ó 7, caracterizado porque en dicha etapa de Mezclado (e) los polvos son mezclados con U_3O_8 natural o empobrecido, en una proporción de 1 a 6% en peso de U-235.
10. Procedimiento para inmovilizar elementos radioactivos, según la reivindicación 9, caracterizado porque en dicha etapa de Prensado y sinterizado (g), los polvos son prensados y los compactos obtenidos son sinterizados, a valores de presión entre 40 y 100 Mpa y las temperaturas de sinterizado están entre 1100 y 1300 °C.
11. Procedimiento para inmovilizar elementos radioactivos, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque previo a dicha etapa de Calcinado previo o a dicha etapa de Disolución fisicoquímica, se realiza la siguiente:



Etapas (a) - Separación del metal o aleación mediante procesos mecánicos.

- 12.** Procedimiento para inmovilizar elementos radioactivos, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dichos elementos radioactivos, son los contenidos en los combustibles agotados provenientes de reactores nucleares de investigación.

**Ing. Jorge Aníbal Fernández
Responsable de Patentes
Comisión Nacional de Energía Atómica**



RESÚMEN

La presente invención se refiere a un procedimiento para inmovilizar elementos radioactivos.

El procedimiento de la invención, se basa en la ceramización con uranio sinterizado, donde no se agrega vidrio y que consiste en mezclar el material obtenido del pre-tratamiento del combustibles con óxido de uranio de composición isotópica igual o menor a la natural, y luego sinterizar esa mezcla, obteniendo un bloque cerámico monolítico con propiedades adecuadas para la disposición final del mismo en un repositorio geológico profundo.

El procedimiento de la invención consta de la siguientes etapas: Separación del aluminio mediante procesos mecánicos, Calcinado previo, Molienda previa, Calcinado, Mezclado, Molienda, Prensado y Sinterizado.

Un uso del procedimiento para inmovilizar elementos radioactivos, de la invención, es en los elementos radioactivos contenidos en los combustibles agotados provenientes de reactores nucleares de investigación.