

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 551 290**

21 Número de solicitud: 201400389

51 Int. Cl.:

**G21C 17/06** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

**14.05.2014**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**17.11.2015**

Fecha de la concesión:

**04.08.2016**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**11.08.2016**

73 Titular/es:

**TECNATOM, S. A. (100.0%)**  
**Avda. Montes de Oca, 1**  
**28703 San Sebastián de los Reyes (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**PIÑEIRO FERNÁNDEZ, Pablo Jesús**

74 Agente/Representante:

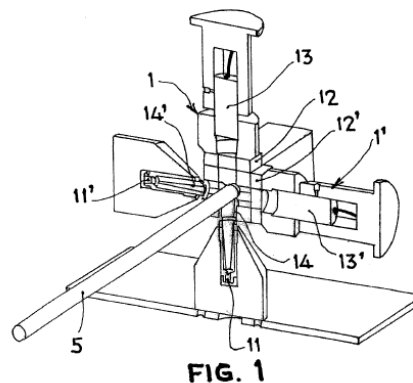
**GARCÍA-CABRERIZO Y DEL SANTO, Pedro**

54 Título: **Densitómetro para medida de densidades de barras de combustible nuclear**

57 Resumen:

Densitómetro para medida de densidades de barras de combustible nuclear.

Densitómetro para medida de densidades de barras, especialmente, de barras de combustible nuclear formado por dos subsistemas (1, 1'), cada uno de los cuales comprende una fuente radiactiva (11, 11'), un colimador (12, 12') y el detector correspondiente (13, 13'), estando las fuentes configuradas de tal forma que la dirección de la radiación (14) emitida por una de ellas forma 90° con la dirección de la radiación (14') emitida por la otra fuente. El densitómetro así configurado permite obtener dos medidas simultáneamente en la misma zona de la barra proporcionando una mayor información sobre la misma, así como medidas de alta sensibilidad.



ES 2 551 290 B1

## DESCRIPCIÓN

Densitómetro para medida de densidades de barras de combustible nuclear.

### 5 Sector técnico de la invención

La presente invención se refiere a un densitómetro para la medida de densidades de barras de distintos materiales. En particular, se refiere a un densitómetro para medir la densidad de barras de combustible nuclear con objeto de comprobar si han sido fabricadas conforme a las especificaciones técnicas requeridas.

### Antecedentes de la invención

Una barra de combustible nuclear está compuesta por una columna de pastillas de combustible sellada en una vaina elongada. Los varios cientos de pastillas de combustible son típicamente de la forma de tabletas cerámicas aglutinadas. La columna de pastillas se mantiene compactada mediante una fuerza de un resorte o muelle en una cámara tubular que contiene también un elemento apropiado de absorción de gases.

Con objeto de medir la densidad de la barra, el estado de las pastillas o la existencia de posibles huecos entre las mismas, existen en el estado de la técnica densitómetros convencionales que se basan principalmente en el uso de una fuente de rayos gamma, un colimador del haz y un detector de radiación para medir el grado de atenuación que ofrece el objeto bajo medida. Tal es el caso, por ejemplo, del densitómetro descrito en la patente ES2065952T3, el cual forma parte de un sistema para el ensayo no destructivo de barras de combustible nuclear.

La técnica convencional de medida mediante densitómetro permite obtener una señal de una zona del objeto. En algunos casos es necesario focalizar en más de un punto del objeto a medir. Por otra parte la técnica actualmente empleada tiene baja sensibilidad de modo que algunas características no son detectables.

Mediante el empleo de un sistema que pueda obtener dos medidas simultáneamente de la barra o tubo de combustible a medir, se obtienen solución a los siguientes problemas:

35 1) Es posible focalizar un haz en el eje del tubo para visualizar las distancias entre pastillas y el segundo haz en la zona perimetral para obtener la geometría del muelle. 2) se obtiene doble o cuádruple sensibilidad dependiendo del algoritmo de combinación de señales, lo cual permite distinguir con mayor nitidez la separación entre pastillas.

Por ello, la presente invención tiene por objeto un densitómetro que permita obtener dos medidas simultáneas de la barra a medir con objeto de solventar los inconvenientes de los densitómetros convencionales, permitiendo aumentar la sensibilidad, así como obtener una mayor información tanto de las pastillas que conforman la barra de combustible como del muelle o resorte que las acompaña.

### 45 Descripción de la invención

La presente invención describe un densitómetro para la medida de densidad de barras, especialmente de combustible nuclear y que permite detectar la presencia de huecos o espacios entre las pastillas de combustible, la presencia de pastillas rotas, así como la orientación o disposición del resorte que toda barra de combustible nuclear presenta en su extremo.

El densitómetro está formado por dos subsistemas, cada uno de los cuales formado por una fuente radiactiva, un colimador y el detector correspondiente, estando las fuentes configuradas de tal forma que la dirección de la radiación emitida por una de ellas forma 90° con la dirección de la radiación emitida por la otra fuente.

5

De esta forma se pueden obtener dos medidas simultáneamente en la misma zona de la barra de combustible y en dos direcciones diferentes separadas por un ángulo de 90°. Así, no sólo se obtiene una mayor información sobre el estado de la barra o las pastillas que la conforman, sino sobre el muelle o resorte que la barra contiene en un extremo.

10

Las fuentes se encuentran preferiblemente provistas de un blindaje para evitar el alcance de la radiación a elementos externos al contenedor del equipo y para minimizar el impacto radiológico en las personas.

15

Los colimadores que presenta el densitómetro pueden ser intercambiables, de forma que, en función del tipo de defecto a medir en la barra, se puede utilizar un colimador específico, con un determinado tipo o forma de apertura. Es decir, en función de si se quiere determinar la posible existencia de huecos o espacios, o bien la orientación o forma del resorte, se utilizará un tipo de colimador u otro.

20

Los detectores incorporan cristales de centello específicos para medidas de altos flujos de radiación.

25

El densitómetro comprende preferiblemente medios de generación de una tercera señal de alta sensibilidad mediante una función matemática a partir de las dos medidas físicas obtenidas. Esto permite obtener señales de alta sensibilidad minimizando la señal del ruido y multiplicando el valor de amplitud de cada pulso.

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

30

Para completar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña un juego de figuras donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

35

Figura 1: Vista de una sección del densitómetro de la presente invención donde puede apreciarse también una barra de combustible

Figura 2: Detalle de la fuente, así como del tercer y cuarto nivel de blindaje.

40

Las referencias que aparecen en los dibujos son las siguientes:

1.- Primer subsistema

11.- Primera fuente radiactiva

45

12.- Primer colimador intercambiable

13.- Primer detector

14.- Primer haz de radiación

50

1'- Segundo subsistema

11'- Segunda fuente radiactiva

12'.- Segundo colimador intercambiable

13'.- Segundo detector

5 14'.- Segundo haz de radiación

2.- Doble encapsulado de la fuente radiactiva

10 3.- Tercer nivel de blindaje de la fuente radiactiva

4.- Cuarto nivel de blindaje de la fuente radiactiva

5.- Barra

### 15 **Descripción de una realización preferida**

Para lograr una mayor comprensión de la invención, se describe a continuación el densitómetro para la medida de barras de combustible nuclear en base a las figuras presentadas.

20

Tal y como se representa en la figura 1, el densitómetro comprende un primer subsistema (1) formado por (a) una primera fuente radiactiva (11) posicionada para dirigir un primer haz de radiación (14) hacia la barra de combustible nuclear (5) en una primera dirección; (b) un primer colimador intercambiable (12) situado entre la fuente y la barra de combustible a medir y (c) un primer detector (13) posicionado para medir un primer grado de atenuación un primer haz de radiación (14) que ha pasado por la barra de combustible (5) y generar una primera medida de densidad.

25

El densitómetro comprende también un segundo subsistema (1') compuesto por (a) una segunda fuente radiactiva (11') posicionada para dirigir un segundo haz de radiación hacia la barra de combustible nuclear (5) en una segunda dirección (14') diferente a la anterior; (b) un segundo colimador intercambiable (12') situado entre la fuente y la barra de combustible a medir y (c) un segundo detector (13') posicionado para medir el grado de atenuación un haz de radiación (14') que ha pasado por la barra de combustible (5) y generar una segunda medida de densidad.

30

35

La dirección del primer haz (14) de radiación forma 90° con la dirección del segundo haz de radiación (14').

40

El densitómetro permite obtener la primera y segunda medida de forma simultánea, obteniendo información de la barra (5) a partir de dos puntos de irradiación diferentes (y con una diferencia angular de 90°).

45

El densitómetro, mediante un ordenador convenientemente programado, permite el tratamiento de las dos medidas físicas obtenidas con la finalidad de generar una tercera señal de alta sensibilidad, minimizando así la señal de ruido.

50

Las fuentes radiactivas (11 y 11') comprenden un blindaje en cuatro niveles, ya que la fuente presenta un doble encapsulado (2) de acero que conforman los dos primeros niveles de blindaje. Este doble encapsulado (2) filtra la radiación alfa y beta procedente de la fuente.

El tercer nivel de blindaje (3) consistente en una cápsula de acero formada por dos piezas permite la correcta manipulación de la fuente para minimizar la radiación gamma

en la persona que hace el montaje del densitómetro. El cuarto nivel de blindaje (4), que es el más externo, lo forma una cápsula de wolframio o acero, de forma que la radiación gamma que lo atraviesa es despreciable.

- 5 Estos cuatro niveles de blindaje dotan a la fuente (11.11') de gran seguridad, evitando el alcance de la radiación a elementos externos a dicha fuente y minimizando el impacto radiológico en las personas.

- 10 Los detectores utilizados comprenden cristales de centelleo de. Por ejemplo, los cristales pueden ser de CeBr<sub>3</sub> ó YAP:Ce.

## REIVINDICACIONES

1. Densitómetro para medida de densidades de barras (5) de combustible nuclear **caracterizado** por comprender:

5

- un primer subsistema (1) que comprende:

- una primera fuente radiactiva (11) posicionada para dirigir un primer haz de radiación (14) hacia la barra en una primera dirección

10

- un primer colimador intercambiable (12) situado entre la fuente y la barra a medir

15

- un primer detector (13) posicionado para medir un primer grado de atenuación un primer haz de radiación (14) que ha pasado por la barra y generar una primera medida de densidad

- un segundo subsistema (1') que comprende:

20

- una segunda fuente radiactiva (11') posicionada para dirigir un segundo haz de radiación hacia la barra en una segunda dirección (14')

- un segundo colimador intercambiable (12') situado entre la fuente y la barra a medir

25

- un detector (13') posicionado para medir el grado de atenuación un haz de radiación (14') que ha pasado por la barra y generar una segunda medida de densidad

30

donde la primera dirección y la segunda dirección forman 90° entre sí.

2. Densitómetro para medida de densidades de barras de combustible nuclear según reivindicación 1 donde las fuentes radiactivas (11, 11') comprenden un blindaje en cuatro niveles.

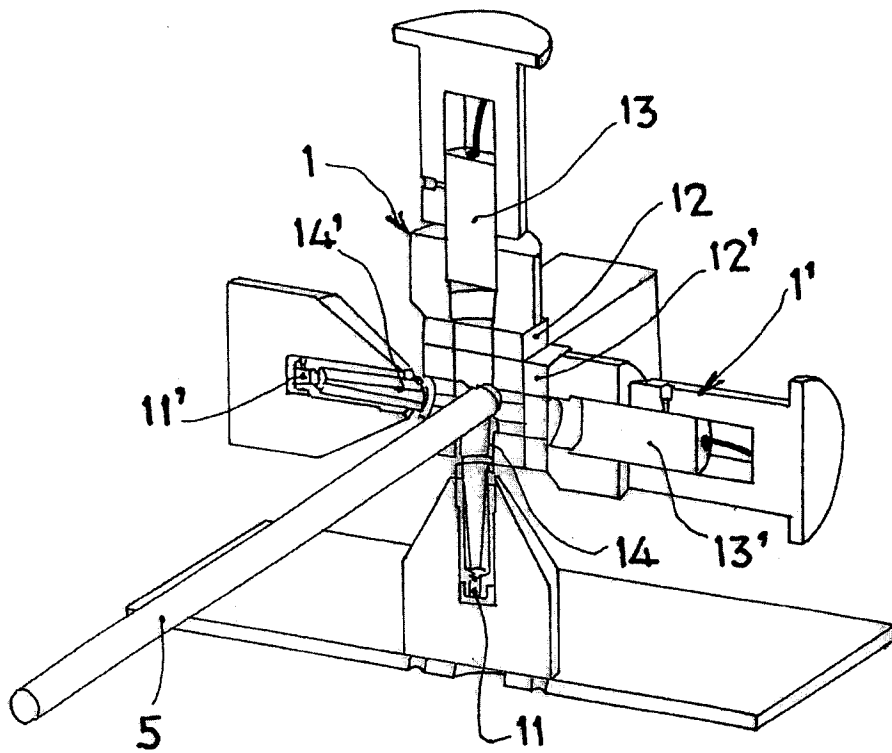
35

3. Densitómetro para medida de densidades de barras de combustible nuclear según reivindicación 2 donde los dos primeros niveles de blindaje consisten en un doble encapsulado (2) de acero, el tercer nivel de blindaje (3) consiste en una cápsula de acero formada por dos piezas y el cuarto nivel de blindaje (4), que es el más externo, lo forma una cápsula de wolframio o acero.

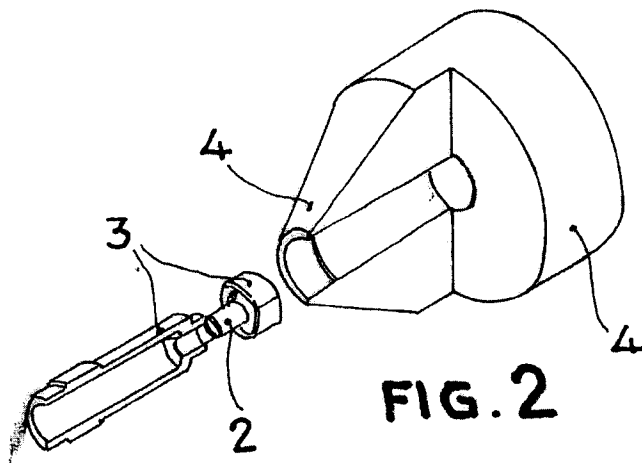
40

4. Densitómetro para medida de densidades de barras de combustible nuclear según reivindicación 1 **caracterizado** por que comprende medios de generación de señal configurados para generar una tercera señal de alta sensibilidad a partir de la primera medida de densidad y de la segunda medida de densidad.

45



**FIG. 1**



**FIG. 2**



OFICINA ESPAÑOLA  
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201400389

②② Fecha de presentación de la solicitud: 14.05.2014

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **G21C17/06** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	EP 0356701 A2 (GEN ELECTRIC) 07.03.1990, columna 8, líneas 15-27; columna 14, línea 55 – columna 15, línea 16.	1-6
A	US 3786256 A (UNTERMYER S) 15.01.1974, columna 2, línea 55 – columna 3, línea 30; columna 5, líneas 31-48.	1-6
A	WO 2004059656 A1 (BELGONUCLEAIRE SA et al.) 15.07.2004, páginas 8-16.	1-6

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
15.09.2015

Examinador  
B. Tejedor Miralles

Página  
1/4

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

G21C

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

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 15.09.2015

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-6	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-6	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	EP 0356701 A2 (GEN ELECTRIC)	07.03.1990
D02	US 3786256 A (UNTERMYER S)	15.01.1974
D03	WO 2004059656 A1 (BELGONUCLEAIRE SA et al.)	15.07.2004

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

## Reivindicación 1:

El documento D01 se considera como el documento del estado de la técnica más próximo al objeto de la invención (entre paréntesis las referencias al documento citado).

Dicho documento divulga un densitómetro para medida de densidades de barras de combustible nuclear que comprende dos subsistemas compuestos cada uno de los cuales por una fuente radiactiva, un colimador entre la fuente y la barra a medir y un detector posicionado para medir un grado de atenuación de un haz de radiación que ha pasado por la barra y genera una medida de densidad (D01: columna 8, líneas 15-27; reivindicación 1: columna 14, línea 55 - columna 15, línea 16).

Se diferencia de la primera reivindicación en que la radiación emitida por el primer subsistema no forma 90° con respecto a la emitida por el segundo subsistema. El efecto técnico que se consigue es obtener dos medidas simultáneas. El problema técnico a resolver es cómo obtener dos medidas simultáneas para disponer de mayor información tanto de las pastillas que conforman la barra de combustible como del resorte que las acompaña.

En ninguno de los documentos citados, que reflejan el estado de la técnica anterior más próximo al objeto de la solicitud, se han encontrado presentes todas las características técnicas que se definen en la reivindicación 1 de la solicitud. Asimismo, se considera que las características diferenciales no parecen derivarse de una manera evidente de ninguno de los documentos citados, ni de manera individual ni mediante una combinación evidente entre ellos. Por todo lo anterior, se concluye que la reivindicación 1 y las reivindicaciones 2-6 satisfarían los requisitos de novedad y actividad inventiva según los artículos 6.1 y 8.1 de la ley de patentes 11/1986. Sin embargo, algunas de las características técnicas de las reivindicaciones dependientes se encuentran divulgadas en los documentos citados.

## Otros documentos del estado de la técnica:

El documento D02 describe un densitómetro para medida de densidades de barras de combustible nuclear que comprende una única fuente radiactiva y un par de detectores dispuestos en posiciones diametrales alrededor de la barra de combustible o a lo largo de radios de 90° desde el eje de la varilla, es decir, situarlos de forma que no estén en alineación común con el camino de la fuente de neutrones (D02: columna 2, línea 55 - columna 3, línea 30; columna 5, líneas 31-48).

El documento D03 divulga un sistema compuesto por una fuente radiactiva, un colimador entre la fuente y la barra a medir y un detector posicionado para medir un grado de atenuación de un haz de radiación que ha pasado por la barra y genera una medida de densidad (D03: páginas 8 - 16).