

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 649 482**

51 Int. Cl.:

G01T 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.02.2014 PCT/US2014/017071**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.10.2014 WO14158473**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.02.2014 E 14776380 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.08.2017 EP 2973602**

54 Título: **Dosímetro de radiación nuclear utilizando cambios de birrefringencia inducidos por tensión en cables de fibra óptica**

30 Prioridad:
14.03.2013 US 201313803104

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.01.2018

73 Titular/es:
**WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC
(100.0%)
1000 Westinghouse Drive, Suite 141
Cranberry Township, PA 16066, US**

72 Inventor/es:
**HEIBEL, MICHAEL D. y
FLAMMANG, ROBERT W.**

74 Agente/Representante:
CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 649 482 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Dosímetro de radiación nuclear utilizando cambios de birrefringencia inducidos por tensión en cables de fibra óptica

Campo de la invención

5 La invención se refiere en general a dispositivos dosímetros de radiación nuclear y a procedimientos para medir y monitorizar la dosis de neutrones recibida por un recipiente de reactor nuclear y componentes y estructuras relacionados. En particular, los dispositivos y procedimientos incluyen la medición de un cambio en patrones de birrefringencia óptica por tensión producidos en cables de fibra óptica. Más en particular, los dispositivos y procedimientos no requieren el uso de un material radioactivo.

Antecedentes

10 Los datos de exposición a la radiación se pueden utilizar para evaluar y gestionar diversas cuestiones relacionadas con el funcionamiento de reactores nucleares de agua ligera en centrales nucleares comerciales. Por ejemplo, los datos de fluencia de radiación pueden ayudar a determinar si los componentes del reactor son adecuados para el funcionamiento continuo o si es necesario el reemplazo. Por lo tanto, es deseable que la industria nuclear cuente con dispositivos y procedimientos disponibles para obtener con precisión y a tiempo datos de exposición a la radiación de un reactor nuclear.

15 Existen varios dispositivos y procedimientos conocidos en la técnica para medir y monitorizar la dosis de neutrones recibida por un recipiente de reactor y componentes y estructuras relacionados en una planta de energía nuclear. Estos dispositivos y procedimientos conocidos se basan típicamente en tecnologías que utilizan estimaciones de daños por radiación o activación de neutrones de materiales seleccionados para producir materiales radiactivos con esquemas de radiación de decaimiento bien caracterizados para determinar la exposición total de neutrones recibida. Además, estos dispositivos y procedimientos conocidos requieren el manejo y uso de materiales radiactivos para recoger y / o analizar los datos de medición.

20 Por ejemplo, durante la parada de la planta, el material radioactivo puede ser instalado en el recipiente del reactor en lugares estratégicos y retenido en el mismo para el funcionamiento del siguiente ciclo de la central nuclear. Durante el funcionamiento, el material radioactivo absorbe los neutrones que pasan a través del recipiente del reactor. Después del ciclo de operación, durante la siguiente interrupción de recarga de combustible, el material radioactivo se retira y se evalúa para determinar el número de neutrones que han interactuado con este material mientras estaba contenido dentro del recipiente del reactor durante el funcionamiento de la planta. En base a esta información, se puede hacer una determinación de la exposición total a los neutrones del recipiente del reactor y / o componentes y estructuras relacionados.

25 El documento US 2982855 divulga una rejilla de guía de ondas situada en y alrededor del núcleo de un reactor de partículas y que contiene un gas reactivo a los neutrones. El flujo de neutrones se determina en base a un cambio en la atenuación y el desplazamiento de fase de una señal de microondas dirigida a través de esta rejilla de guía de ondas.

35 Existen varias desventajas asociadas con dispositivos y procedimientos conocidos para medir y monitorizar la fluencia neutrónica en un recipiente de reactor, tales como la necesidad de utilizar un material radioactivo para absorber los neutrones y la exposición a la contaminación resultante al personal cuando el material radioactivo que contiene los neutrones es retirado y analizado.

40 Por lo tanto, existe la necesidad en la técnica de desarrollar dispositivos y procedimientos para medir y monitorizar dosis de neutrones que incluyan una o más de las siguientes características: utilización de herramientas de medición comercialmente disponibles, obtención de la medición en un lugar exterior al recipiente del reactor nuclear y minimización del potencial de exposición de la contaminación radiactiva del personal en la recogida y análisis de los resultados.

Sumario de la invención

45 En un aspecto, la invención proporciona un dispositivo para medir la fluencia neutrónica en un lugar preseleccionado en una planta de energía nuclear. La ubicación preseleccionada incluye una presencia de neutrones. El dispositivo incluye un cable de fibra óptica que tiene una longitud y una superficie exterior que forma una cavidad que se extiende a lo largo de la longitud del cable de fibra óptica. La cavidad puede incluir uno o más núcleos formados en la misma. El dispositivo incluye además un material sensible a los neutrones contenido sustancial y uniformemente en la cavidad. El material sensible a los neutrones puede estar contenido sustancial y uniformemente en cada uno del uno o más núcleos. El material sensible a los neutrones es eficaz para absorber al menos parcialmente los neutrones que pasan a través del cable de fibra óptica para producir un gas. El gas se puede seleccionar del grupo que consiste en hidrógeno, helio y mezclas de los mismos. El dispositivo incluye también una herramienta de medición óptica para medir un cambio en el patrón de birrefringencia óptica por tensión que es producido por una acumulación

de presión del gas en el cable de fibra óptica y un medio para determinar una cantidad del gas en el cable de fibra óptica y una cantidad de neutrones absorbidos por el material sensible a los neutrones para determinar la exposición total a los neutrones en la ubicación preseleccionada.

5 En ciertas realizaciones, el material sensible a los neutrones es litio - 6 y el litio - 6 absorbe al menos parcialmente los neutrones para producir uno o más átomos de hidrógeno y uno o más átomos de helio.

Además, en ciertas realizaciones, la medición de la fluencia neutrónica se obtiene sin emplear un material radiactivo.

10 En otro aspecto, la invención proporciona un procedimiento para medir la fluencia neutrónica en un lugar preseleccionado en una planta de energía nuclear, comprendiendo la ubicación preseleccionada una presencia de neutrones. El procedimiento incluye obtener un cable de fibra óptica que tiene una superficie cilíndrica exterior y una cavidad interior. La cavidad interior tiene uno o más núcleos formados en su interior. Un material sensible a los neutrones se introduce sustancial y uniformemente en el uno o más núcleos. El procedimiento incluye también obtener un primer patrón de birrefringencia óptica por tensión del cable de fibra óptica, colocar el cable de fibra óptica que contiene el citado uno o más núcleos en el citado lugar preseleccionado, producir un gas seleccionado del grupo que consiste en hidrógeno, helio y mezclas de los mismos a partir de la interacción de los neutrones con el material sensible a los neutrones, obtener un segundo patrón de birrefringencia óptica por tensión del cable de fibra óptica, medir un cambio en el patrón de birrefringencia óptica por tensión que se produce en el cable de fibra óptica por la acumulación de presión del gas y determinar una cantidad del gas en el cable de fibra óptica y el número de neutrones absorbidos por el material sensible a los neutrones para determinar la exposición total a los neutrones en la ubicación preseleccionada.

20 **Breve descripción de los dibujos**

Se puede obtener una comprensión adicional de la invención a partir de la descripción siguiente de las realizaciones preferidas cuando se lee en conjunto con los dibujos que se acompañan, en los que:

25 La figura 1A muestra un patrón de birrefringencia óptica esperado de un cable de fibra óptica que tiene el Sensor 1 y el Sensor 2 a presión atmosférica antes de la instalación del cable cerca de un recipiente de reactor, de acuerdo con ciertas realizaciones de la invención.

La figura 1B muestra un patrón de birrefringencia óptica esperado del cable de fibra óptica en la figura 1A después de la exposición a neutrones cerca de un recipiente de reactor durante un ciclo operativo de una planta de energía nuclear, de acuerdo con ciertas realizaciones de la invención.

30 La figura 2 muestra un gráfico de la presión del gas frente al porcentaje fraccionario de litio reaccionado, de acuerdo con ciertas realizaciones de la invención.

Descripción detallada de la invención

35 La invención se refiere a dispositivos y procedimientos para medir la fluencia neutrónica en un recipiente de reactor y / o componentes y / o estructuras relacionados con el mismo. Estos dispositivos y procedimientos incluyen el uso de un cable de fibra óptica. Además, estos dispositivos y procedimientos excluyen el uso de un material radioactivo. Por ejemplo, los dispositivos se construyen sin emplear un material radioactivo. La invención mide la fluencia neutrónica midiendo el cambio en el patrón de birrefringencia óptica por tensión producida en el cable de fibra óptica.

40 En general, de acuerdo con la invención, se instala un cable de fibra óptica en un lugar preseleccionado en el que se desea medir la fluencia neutrónica. Típicamente, se instala una pluralidad de cables de fibra óptica. Los cables de fibra óptica tienen una longitud predeterminada. La longitud de la pluralidad de cables de fibra óptica puede ser igual o diferente. La ubicación preseleccionada incluye, por ejemplo, el recipiente del reactor y / o componentes y / o estructuras relacionados en una central nuclear. En ciertas realizaciones, los componentes y estructuras relacionados incluyen el edificio de contención y la posición del equipo en el mismo. Además, en ciertas realizaciones, la fluencia neutrónica en el recipiente del reactor puede medirse desde una posición externa al reactor, instalando los cables de fibra óptica de la invención en un componente o estructura relacionada situada fuera del recipiente del reactor, de manera que se mide la cantidad de neutrones que salen del recipiente del reactor.

50 Los cables de fibra óptica incluyen una cavidad hueca con al menos uno o más núcleos situados dentro de la cavidad. El uno o más núcleos contienen, por ejemplo están llenos al menos parcialmente de, un material sensible a los neutrones. Los neutrones que están presentes en la posición preseleccionada pasan a través del cable de fibra óptica y son absorbidos al menos parcialmente por el material sensible a los neutrones colocado en el mismo. Esta interacción de los neutrones con el material sensible a los neutrones produce una acumulación de gas dentro de la cavidad del cable de fibra óptica que provoca un cambio, por ejemplo, un aumento, en la presión en el mismo. El cambio de presión en la cavidad del cable de fibra óptica produce un cambio en la distribución de tensiones en el cable de fibra óptica. Al medir el cambio en el patrón de birrefringencia óptica por la tensión producida por el cambio de presión en la cavidad del cable de fibra óptica, se puede deducir la cantidad de gas y, por tanto, el número de

neutrones absorbidos en el material sensible a los neutrones. Esto, a su vez, permitirá que se determine la exposición total de neutrones del lugar preseleccionado.

Los cables de fibra óptica adecuados para su uso en la invención se pueden seleccionar entre los conocidos en la técnica. Como se ha descrito más arriba, los cables de fibra óptica son huecos. Así, una superficie exterior, por ejemplo de forma cilíndrica, forma una cavidad interior. Además, la longitud de los cables de fibra óptica puede variar. La cavidad interior incluye uno o más núcleos. La cavidad interior y uno o más núcleos se extienden a lo largo de la longitud del cable de fibra óptica.

Los materiales sensibles a los neutrones adecuados para su uso en la invención se pueden seleccionar entre los conocidos en la técnica. Como se ha descrito más arriba, el material sensible a los neutrones es eficaz para absorber neutrones. En ciertas realizaciones, el material sensible a los neutrones es litio - 6. Esta interacción de los neutrones y el material sensible a los neutrones provoca la producción de un gas que da lugar a una acumulación de presión en la cavidad del cable de fibra óptica. En ciertas realizaciones, se pueden producir átomos de hidrógeno, átomos de helio o una mezcla de los mismos.

Se conoce en la técnica que el patrón de birrefringencia óptica obtenido por el cable de fibra óptica puede cambiar de una manera predecible en función de la tensión aplicada. En ciertas realizaciones de la invención, el cambio en el patrón de birrefringencia como una función del cambio en la distribución de tensiones en el cable se puede determinar fácilmente usando técnicas interferométricas de luz blanca. Por ejemplo, el análisis Wojtek J. Bock y Waclaw Ubanczyk titulado "Sistema multiplexado de sensores de presión hidrostática interferométricos de luz blanca basados en fibras altamente birrefringentes" (Proc. de SPIE, vol. 2838/ 243, 1996) utiliza dicha técnica y describe que la detección de fibras empleando técnicas interferométricas de luz blanca ofrece varias ventajas significativas tales como la posibilidad de mediciones absolutas (sin problema de inicialización), la posibilidad de multiplexar un número de sensores de un solo punto en un sistema de medición más grande, y un menor nivel de ruido que los sistemas coherentes. Por lo tanto, el patrón de birrefringencia óptica obtenido a partir del cable de fibra óptica antes de la interacción del material sensible a los neutrones y los neutrones (y el gas acumulado y la presión) es diferente del obtenido después de la citada interacción. La figura 1A muestra un patrón de birrefringencia para un cable de fibra óptica que tiene el Sensor 1 y el Sensor 2 a presión atmosférica. El patrón de birrefringencia que se muestra en la figura 1A es anterior a la instalación del cable de fibra óptica en un lugar en el que existe presencia de neutrones. Esto se demuestra en la figura 1B que muestra el patrón de birrefringencia para el cable de fibra óptica que se muestra en la figura 1A con la excepción de que el patrón de birrefringencia que se muestra en la figura 1B sigue a la instalación en un lugar en el que hay presentes neutrones. El cambio en el patrón de birrefringencia es causado por el cambio en la distribución de tensiones en el cable que es causada por el cambio en la presión aplicada al cable. En la figura 1B, el Sensor 1 y el Sensor 2 están a una presión de 24 MPa y 14 MPa, respectivamente. De esta manera, la figura 1A representa el patrón "antes" y la figura 1B representa el patrón "después".

Cuando el cable de fibra óptica se instala en una ubicación tal que los neutrones pasan a través del cable de fibra óptica, un cambio en la distribución de las tensiones a través de la sección transversal del cable da lugar a un cambio en el patrón de birrefringencia asociado. El cambio en el patrón de birrefringencia se puede usar para determinar un cambio numérico preciso en la distribución de tensiones aplicada. Un cambio en la presión interior en el cable se puede usar con facilidad y precisión para determinar el número de neutrones que interactúan con el material sensible a los neutrones.

En ciertas realizaciones, esta invención emplea la activación de una cantidad controlada del material sensible a los neutrones, tal como el Li - 6, empaquetado de manera sustancialmente uniforme en uno o más núcleos axiales huecos en una longitud de un cable de fibra óptica para producir un cambio en la presión interior en el núcleo del cable mientras el Li - 6 interactúa con los neutrones que pasan a través de la longitud del cable. El cambio en la presión se puede usar para determinar el número de neutrones que interactúan con el material del núcleo.

A efectos de demostración, la descripción que sigue se refiere a la instalación o introducción de cables de fibra óptica en el recipiente del reactor, sin embargo, este procedimiento es igualmente aplicable a la instalación de los cables de fibra óptica en un componente o estructura relacionados. Una pluralidad de cables de fibra óptica que tienen longitud o longitudes preseleccionadas (es decir piezas) se instala en localizaciones estratégicas a lo largo del recipiente del reactor y en el espacio entre el recipiente del reactor y la estructura de soporte del recipiente del reactor. El número de cables de fibra óptica empleados puede variar y puede depender del tamaño y configuración del componente y / o estructura en particular en los que se mide la fluencia neutrónica. Los cables de fibra óptica se instalan cuando la planta del reactor nuclear está en modo de parada. Los cables de fibra óptica permanecen en el recipiente del reactor durante el siguiente ciclo de funcionamiento y posteriormente se extraen durante la siguiente interrupción programada de recarga de combustible.

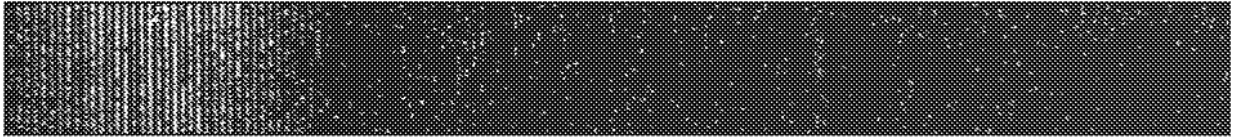
Antes de la introducción o la instalación en el recipiente del reactor, se obtiene un patrón de birrefringencia óptica de los cables de fibra óptica. Después de la extracción, se obtiene otro patrón de birrefringencia óptica de los cables de fibra óptica y se compara con el patrón de birrefringencia óptica original obtenido de los cables de fibra óptica antes

de la instalación en el recipiente del reactor. Se hace una evaluación del cambio en el patrón y como resultado, se determina el número de neutrones que pasaron a través del recipiente del reactor.

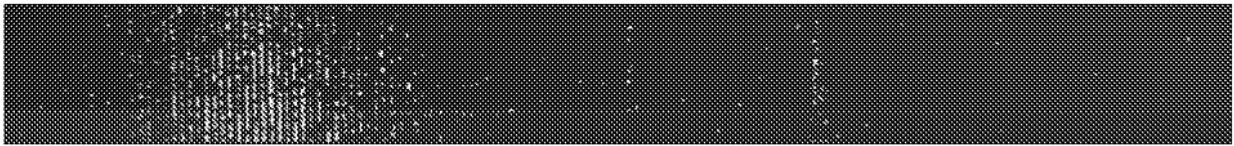
5 La figura 2 es un gráfico de la presión del gas (Pa) frente al porcentaje fraccionario de litio - 6 reaccionado. La curva muestra el cambio (es decir, aumento) de la presión dentro de la cavidad del cable de fibra óptica para una cantidad dada de litio - 6 que ha reaccionado como resultado de la absorción de neutrones.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo para medir la fluencia neutrónica en un lugar preseleccionado en una planta de energía nuclear, comprendiendo la ubicación preseleccionada una presencia de neutrones, el dispositivo está **caracterizado porque** comprende:
 - 5 un cable de fibra óptica que tiene una longitud y una superficie exterior que forma una cavidad, extendiéndose la cavidad a lo largo de la longitud del cable de fibra óptica;
 - un material sensible a los neutrones que se encuentra contenido sustancial y uniformemente en la cavidad, siendo efectivo el material sensible a los neutrones para absorber al menos parcialmente los neutrones para producir un gas;
 - 10 una herramienta de medición óptica para medir un cambio en un patrón de birrefringencia óptica por tensión del cable de fibra óptica, siendo producido el cambio por una acumulación de presión como resultado del gas producido; y
 - un medio para determinar una cantidad de gas en el cable de fibra óptica y una cantidad de neutrones absorbidos por el material sensible a los neutrones para determinar la exposición total de neutrones en la posición preseleccionada.
2. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que la cavidad tiene uno o más núcleos formados en la misma.
3. El dispositivo de la reivindicación 2, en el que cada uno del uno o más núcleos contiene sustancial y uniformemente el material sensible a los neutrones.
- 20 4. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que el gas se selecciona del grupo que consiste en hidrógeno, helio y mezclas de los mismos
5. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que su construcción excluye la presencia de un material radiactivo.
6. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que el material sensible a los neutrones es litio - 6.
- 25 7. El dispositivo de la reivindicación 6, en el que el litio - 6 absorbe al menos parcialmente los neutrones para producir uno o más átomos de hidrógeno y uno o más átomos de helio.
8. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que la cavidad tiene uno o más núcleos formados en su interior y la cavidad y el uno o más núcleos se extienden a lo largo de la longitud del cable de fibra óptica; en el que un material sensible a los neutrones está contenido sustancial y uniformemente en el uno o más núcleos, y el gas se selecciona del grupo que consiste en hidrógeno, helio y mezclas de los mismos.
- 30 9. Un procedimiento para medir la fluencia neutrónica en una ubicación preseleccionada en una planta de energía nuclear, comprendiendo la ubicación preseleccionada una presencia de neutrones, el procedimiento está **caracterizado porque** comprende:
 - 35 obtener un cable de fibra óptica que tiene una superficie cilíndrica exterior y una cavidad interior, teniendo la cavidad interior uno o más núcleos formados en su interior;
 - introducir sustancial y uniformemente un material sensible a los neutrones en el uno o más núcleos;
 - obtener un primer patrón de birrefringencia óptica de tensión del cable de fibra óptica;
 - posicionar el cable de fibra óptica que contiene el citado uno o más núcleos en la citada posición preseleccionada,
 - 40 producir un gas seleccionado del grupo que consiste en hidrógeno, helio y mezclas de los mismos a partir de la interacción de neutrones con el material sensible a los neutrones;
 - obtener un segundo patrón de birrefringencia óptica por tensión del cable de fibra óptica después de haber sido colocado en la posición preseleccionada;
 - medir un cambio en los patrones de birrefringencia óptica por tensión primera y segunda, produciéndose el cambio por la acumulación de presión del gas en el cable de fibra óptica; y
 - 45 determinar una cantidad del gas en el cable de fibra óptica y el número de neutrones absorbidos por el material sensible a los neutrones para determinar la exposición total a los neutrones en el emplazamiento preseleccionado.
- 50 10. El procedimiento de la reivindicación 9, en el que la medición es realizada por una herramienta de medición óptica.

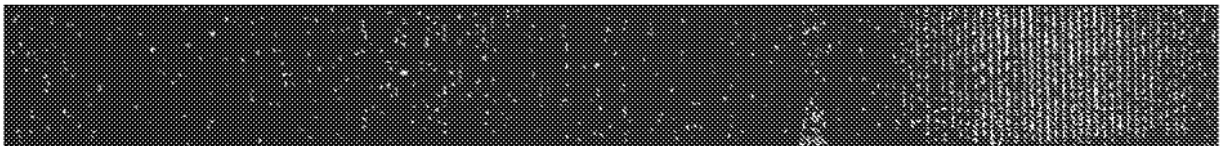


SENSOR 1, PRESIÓN ATMOSFÉRICA



SENSOR 2, PRESIÓN ATMOSFÉRICA

FIG. 1A



SENSOR 1, $P_1=24$ MPa



SENSOR 2, $P_2=14$ MPa

FIG. 1B

PRESIÓN DEL GAS (PASCALES) FRENTE A FRACCIÓN DE REACCIÓN

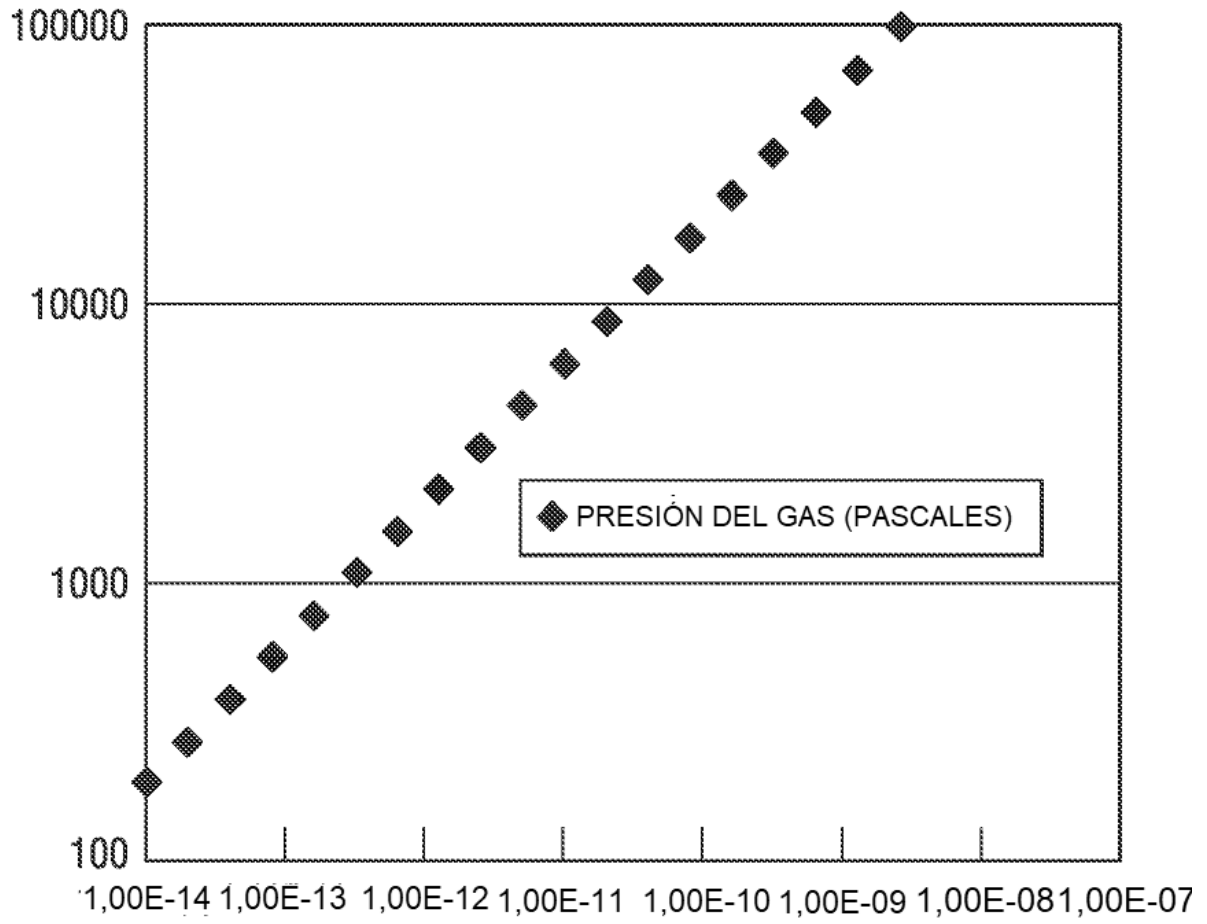


FIG. 2