

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

(19) Organización Mundial de la
Propiedad Intelectual
Oficina internacional



(43) Fecha de publicación internacional
13 de agosto de 2020 (13.08.2020)

WIPO | PCT

(10) Número de publicación internacional
WO 2020/161615 A1

(51) Clasificación internacional de patentes:

G01T 1/20 (2006.01) G01T 1/22 (2006.01)
G01T 3/06 (2006.01) G01T3/00 (2006.01)

(21) Número de la solicitud internacional:

PCT/IB2020/050869

(22) Fecha de presentación internacional:

04 de febrero de 2020 (04.02.2020)

(25) Idioma de presentación:

español

(26) Idioma de publicación:

español

(30) Datos relativos a la prioridad:

20190100279 06 de febrero de 2019 (06.02.2019) AR

(71) Solicitantes: **CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS (CONICET)** [AR/AR]; Godoy Cruz 2290 - Piso 10, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, C1425FQB (AR). **COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA (CNEA)** [AR/AR]; Av. del Libertador 8250, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 1429 (AR). **INIS BIOTECH LLC** [US/US]; 203 NE Front Street Suite 101, Milford Kent County, Delaware 19963 (US).

(72) Inventores: **BLOSTEIN, Juan J.**; Sarmiento Superior 4023, San Carlos de Bariloche - Peía. de Río Negro, R8402BOG (AR). **SIDELNIK, Iván P.**; Calle 6 (Cahiu) 12565, San Carlos de Bariloche - Peía. de Río Negro, R8401BOU (AR). **ASOREY, Hernán G.**; Neumeyer 40 - Piso 2 Dpto. B, San Carlos de Bariloche - Peía. de Río Negro, R8400ASB (AR). **LIPOVETZKY, José**; Callao 3825

- UF 3, San Carlos de Bariloche - Peía. de Río Negro, 8402 (AR). **SOFO HARO, Miguel F.**; Quaglia 584 - Piso 2 Dpto. F, San Carlos de Bariloche - Peía. de Río Negro, R8400BEC (AR). **ARNALDI, Luis H.**; Carlos Ruiz 1557 Piso 3 Dpto. E, San Carlos de Bariloche - Peía. de Río Negro, 8400 (AR). **PÉREZ, Martín**; Santiago Albarracin 135, 2° C, San Carlos de Bariloche - Peía. de Río Negro, R8400BEC (AR). **ALCALDE BESSIA, Fabricio P.**; Av. Bustillo 9500, San Carlos de Bariloche - Peía. de Río Negro, R8402AGP (AR). **GÓMEZ BERISSO, Mariano**; Pioneros 7385, San Carlos de Bariloche - Peía. de Río Negro, 8400 (AR).

(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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(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, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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,

(54) Title: NEUTRON AND GAMMA RADIATION DETECTOR USING A WATER CHERENKOV DETECTOR

(54) Título: DETECTOR DE NEUTRONES Y RADIACIÓN GAMMA MEDIANTE EL EMPLEO DE UN DETECTOR CHERENKOV EN AGUA

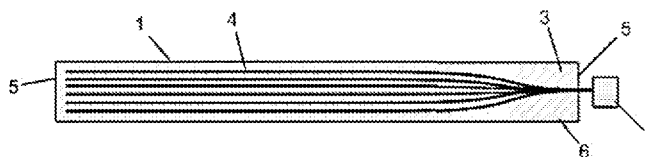


FIGURA 1B

(57) **Abstract:** A thermal neutron, fast neutron and gamma photon detector based on a water Cherenkov detector and which allows large active detection volumes at a relatively low cost and higher-intensity signals, wherein said detector comprises a receptacle which comprises at least one lid; a coating that reflects and diffuses photons in the interior of the receptacle; an aqueous solution contained in the receptacle which comprises sodium chloride (NaCl); and a light sensor device optically coupled to the aqueous solution.

(57) **Resumen:** Un detector de neutrones térmicos, neutrones rápidos y fotones gamma que se basa en un detector de radiación Cherenkov en agua y que permite grandes volúmenes activos de detección a un costo relativamente bajo y señales de mayor intensidad, en donde dicho detector comprende un recipiente que comprende al menos una tapa; un recubrimiento reflector y difusor de fotones en el interior del recipiente; una solución acuosa contenida en el recipiente, la cual comprende cloruro de sodio (NaCl); y un dispositivo sensor de luz ópticamente acoplado a la solución acuosa.



WO 2020/161615 A1

LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI,
SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,
GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Declaraciones según la Regla 4.17:

- *sobre el derecho del solicitante para solicitar y que le sea concedida una patente (Regla 4.17(H))*

Publicada:

- *con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))*
- *antes de la expiración del plazo para modificar las reivindicaciones y para ser republicada si se reciben modificaciones (Regla 48.2(h))*
- *en blanco y negro; la solicitud internacional se presentó en colores o en escala de grises y puede descargarse de PATENTSCOPE.*

DETECTOR DE NEUTRONES Y RADIACIÓN GAMMA MEDIANTE EL EMPLEO DE UN DETECTOR CHERENKOV EN AGUA

CAMPO DE LA INVENCION

[0001] La presente invención se refiere a un detector de neutrones térmicos, neutrones rápidos y fotones gamma que se basa en un detector de radiación Cherenkov en agua.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

[0002] La detección de neutrones térmicos, neutrones rápidos y fotones gamma tiene diversas aplicaciones tal como en materia de seguridad, detectando la presencia de materiales fisibles o fisionables (conocidos como “materiales nucleares especiales”, uranio, plutonio, etc.) a partir de la detección de los neutrones emitidos por estos materiales. Esto tiene particular interés para la detección no intrusiva del tráfico ilegal de materiales nucleares especiales que emiten neutrones susceptibles de ser utilizados con fines terroristas (uranio, plutonio, etc), como así para detectar el transporte ilegal de residuos radiactivos en portales de control aduanero y de tránsito, control de seguridad en contenedores, embarcaciones, medios de transporte, acceso a instalaciones, cargamentos en general y pasajeros. Otros usos podrían ser en materia de energía en salvaguardias nucleares (control de calidad de combustibles nucleares), prospección uranífera y en materia de detección de neutrones en general para una gran diversidad de estudios de interés básico y aplicado, incluyendo aplicaciones médicas en el ámbito de la medicina nuclear y radioterapia.

[0003] Existen detectores de neutrones que poseen altas eficiencias de detección de neutrones térmicos basados en una cámara de ionización conteniendo helio-3, material cuyo núcleo posee una alta sección eficaz de captura de neutrones térmicos y es un gas noble de baja abundancia isotópica y muy baja disponibilidad en nuestro planeta. Actualmente el uso masivo de helio-3 para la fabricación de detectores de neutrones produjo una disminución drástica en el stock mundial del isótopo helio-3,

situación mundialmente conocida como la "crisis del helio-3", la cual provocó un incremento significativo en el precio del helio-3 durante los últimos años. Esta circunstancia ha motivado que, durante los últimos años, distintos laboratorios se dediquen a la búsqueda de técnicas alternativas para la detección de neutrones.

[0004] Una de dichas técnicas alternativas a los detectores basados en helio-3 es el empleo de detectores Cherenkov, en los cuales mediante la producción de radiación Cherenkov se detectan indirectamente los neutrones y los fotones gamma.

[0005] Se han divulgado dispositivos para detectar neutrones basados en detectores Cherenkov tal como en la patente estadounidense US 8373133 B2 que protege un dispositivo detector de neutrones y rayos gamma y un sistema de monitoreo de portal de radiación. Dicho detector consiste en un dispositivo en el cual la detección de neutrones se logra mediante el empleo de agua dopada con compuestos que contienen gadolinio, más precisamente de cloruro de gadolinio (GdCl_3), en el cual los núcleos de gadolinio luego de la captura neutrónica emiten fotones gamma que, al interactuar con el medio por efecto Compton, generan electrones con velocidades mayores a la de la luz en dicho medio, produciéndose así la emisión de luz Cherenkov. Dicho dispositivo cuenta con una pluralidad de tubos fotomultiplicadores para captación de la luz, además de un diseño que consta de dos cámaras, una encima de la otra o una encerrando la otra. Dicho dispositivo presenta algunas desventajas, entre ellas el empleo de cloruro de gadolinio el cual es una sal de un elevado costo y difícil de conseguir, además de que es una sustancia tóxica. Adicionalmente, el uso de una pluralidad de tubos fotomultiplicadores también genera un considerable incremento en los costos de instalación y de mantenimiento.

[0006] Otro documento de patente relacionado con este campo de la técnica es la solicitud de patente estadounidense US 2012/0307952 A1 que está dirigida a un detector de neutrones Cherenkov que emplea agua desionizada y GdCl_3 como dopante para la detección de neutrones en donde, luego de la captura neutrónica, se produce la emisión de partículas beta que reaccionan con el agua produciendo luz

mediante el efecto Cherenkov, la cual es captada mediante uno o más tubos fotomultiplicadores o fotodiodos. Sin embargo, y a pesar de lo indicado en la solicitud US 2012/0307952 A1, corresponde destacar que la energía de las partículas beta emitidas por el gadolinio resulta insuficiente para producir el efecto Cherenkov en agua, efecto que posee un umbral de energía cinética de 750 keV para electrones. Por otra parte, y al igual que el antecedente mencionado anteriormente, el elemento dopante para la detección de neutrones, es decir, el cloruro de gadolinio, es un compuesto tóxico.

[0007] Como se ha mencionado para ambos antecedentes, el cloruro de gadolinio es un elemento contaminante y tóxico. Éste, tal y como se especifica en su ficha de datos de seguridad, puede causar irritación en la piel, grave irritación en los ojos y problemas respiratorios, además se recomienda evitar respirarlo en polvo, gas, niebla, vapores, entre otros, haciendo que en caso de una rotura accidental o intencional de un dispositivo Cherenkov en agua que emplee dicho dopante, como puede ser en un paso fronterizo, puede conllevar en un derrame que generaría un gran costo ambiental. Adicionalmente, dicha ficha de datos especifica que para la manipulación de este compuesto se requiere de la utilización de indumentaria adecuada de protección como pueden ser anteojos de seguridad, guantes, máscaras de protección, etc.

[0008] Cabe destacar que, en relación con los detectores de neutrones y fotones gamma la magnitud tecnológica de interés es la eficiencia absoluta de detección, y que para las posibles aplicaciones de los detectores de neutrones y fotones gamma, como puede ser el escaneo/control de muestras de gran volumen, resulta conveniente el empleo de detectores de gran volumen activo y alta eficiencia intrínseca de detección.

[0009] En consecuencia, existe una necesidad de un detector que permita superar a los inconvenientes arriba mencionados pudiendo detectar neutrones térmicos, neutrones rápidos y fotones gamma a través de un detector Cherenkov en agua que utilice un dopante no tóxico ni contaminante, de menor costo, con capacidad de

escalabilidad a grandes volúmenes de detección y que, luego de la captura neutrónica, produzca radiación gamma de mayor energía que genere una señal de mayor intensidad y permita el uso de un detector más sencillo y por lo tanto más económico.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

[001 0] En base a las consideraciones anteriores, la presente invención proporciona un detector Cherenkov en agua, que no emplea sales de gadolinio, que utiliza menores recursos en dispositivos electrónicos y que logra superar los problemas mencionados arriba, diferenciándose de lo conocido en el campo de detectores de neutrones térmicos, neutrones rápidos y fotones gamma.

[001 1] En consecuencia, el objeto de la presente invención es un detector de neutrones térmicos, neutrones rápidos y fotones gamma que se basa en un detector de radiación Cherenkov en agua y que permite la detección en grandes volúmenes activos a un costo relativamente bajo y señales de mayor intensidad, en donde dicho detector comprende:

- un recipiente que comprende al menos una tapa;
- un recubrimiento reflector y difusor de fotones en el interior del recipiente;
- una solución acuosa contenida en el recipiente, la cual comprende cloruro de sodio (NaCl); y
- un dispositivo sensor de luz ópticamente acoplado a la solución acuosa.

[001 2] En una forma de realización preferida de la presente invención, el material del recipiente y de la al menos una tapa es seleccionado, independientemente, del grupo que comprende materiales metálicos, materiales poliméricos y materiales compuestos.

[001 3] En una forma de realización más preferida de la presente invención, los materiales metálicos se seleccionan del grupo que comprende acero al carbono y acero inoxidable.

[0014] En una forma de realización más preferida de la presente invención, los materiales poliméricos comprenden PVC.

[0015] En una forma de realización más preferida de la presente invención, los materiales compuestos comprenden fibra de vidrio y resina epoxi.

[0016] En una forma de realización preferida de la presente invención, el recipiente tiene una forma geométrica seleccionada del grupo que comprende las formas cilíndrica, cúbica, paralelepípedica de base rectangular, esférica, entre otras.

[0017] En una forma de realización preferida de la presente invención, el recipiente es estanco a la luz exterior.

[0018] En una forma de realización preferida de la presente invención, la al menos una tapa es estanca a la luz exterior y puede ser accionada entre una posición abierta y una posición cerrada.

[0019] En una forma de realización de la presente invención, el dispositivo sensor de luz es seleccionado del grupo que comprende un tubo fotomultiplicador, un fotomultiplicador de silicio, un sensor CMOS y un sensor CCD, entre otros.

[0020] En una forma de realización preferida de la presente invención, la solución acuosa comprende entre 0,5 % y 36 % de NaCl en masa, preferiblemente entre 2 % y 25 % de NaCl en masa, más preferiblemente entre 3 % y 15 % de NaCl en masa, aún más preferiblemente entre 5 % y 10 % de NaCl en masa, entre otros rangos intermedios, y lo más preferible un 5 % de cloruro de sodio en masa. La presencia de NaCl aumenta la detección de neutrones por parte del detector.

[0021] En una forma de realización de la presente invención, la solución acuosa de NaCl comprende, además, un compuesto de alto índice de refracción tal como disulfuro de carbono (CS₂), material que posee un mayor índice de refracción que el agua, y por lo tanto presenta un menor umbral de energía de electrones para la producción de efecto Cherenkov.

[0022] En una forma de realización preferida de la presente invención, el recubrimiento reflector y difusor utilizado es un tejido de polietileno de alta densidad de

color blanco que refleja y difunde fotones Cherenkov aumentando la probabilidad de que dichos fotones sean detectados. Preferiblemente, la tela de polietileno de alta densidad utilizada es comercializada bajo la marca Tyvek por DuPont.

[0023] En una forma de realización preferida de la presente invención, el detector comprende, además, en el interior del recipiente, una pluralidad de fibras ópticas acopladas al dispositivo sensor de luz, las cuales mejoran la captación y el transporte de la luz Cherenkov producida en el interior del recipiente, lo cual mejora la intensidad de la señal registrada y la eficiencia del detector para detección de neutrones y fotones gamma.

[0024] En una forma de realización preferida de la presente invención, la pluralidad de fibras ópticas se acoplan al dispositivo sensor de luz mediante grasa óptica.

[0025] En una forma de realización de la presente invención, el dispositivo sensor de luz está sujeto a la al menos una tapa.

[0026] En una forma de realización preferida de la presente invención, el dispositivo sensor de luz se encuentra afuera del recipiente, dentro de otro recipiente o volumen estanco a la luz.

[0027] En una forma de realización más preferida de la presente invención, la pluralidad de fibras ópticas son fibras ópticas centelladoras con cambiador de longitud de onda (WLS, por sus siglas en inglés *Wavelength Shifters*) con revestimiento múltiple. Estas fibras son capaces de captar la luz Cherenkov y reemitir luz en un mayor rango angular de captación en torno al eje de transporte de la fibra, como así también compatibilizar el espectro de emisión de luz de la fibra óptica con la eficiencia de detección del sensor de luz utilizado, aumentado así aún más la intensidad de la señal y la eficiencia del detector para detección de neutrones y fotones gamma.

[0028] En una forma de realización aún más preferida de la presente invención, dicha pluralidad de fibras ópticas comprende siete fibras ópticas de sección circular, una central y seis en su periferia, de 1,25 mm de diámetro cada una, colocadas en el centro del recipiente.

[0029] En una forma de realización aún más preferida de la presente invención, el detector de neutrones térmicos, neutrones rápidos y fotones gamma comprende:

- un recipiente que comprende al menos una tapa estanca a la luz exterior que puede ser accionada entre una posición abierta y una posición cerrada;
- un recubrimiento reflector y difusor de fotones en el interior del recipiente;
- una solución acuosa contenida en el recipiente, la cual comprende cloruro de sodio (NaCl) y un compuesto de alto índice de refracción tal como disulfuro de carbono (CS₂);
- una pluralidad de fibras ópticas en el interior del recipiente; y
- un dispositivo sensor de luz acoplado a la pluralidad de fibras ópticas y que se encuentra afuera del recipiente dentro de otro recipiente o volumen estanco a la luz.

[0030] Cabe destacar que las mejoras en la eficiencia de detección de neutrones provistas por el uso de cloruro de sodio como dopante con o sin el compuesto de alto índice de refracción (por ejemplo, disulfuro de carbono) y por el uso de fibras ópticas son independientes entre sí. Es decir, en una forma de realización de la presente invención se utiliza una solución acuosa con el añadido de cloruro de sodio pero sin el empleo de fibras ópticas, mientras que en una forma de realización preferida de la presente invención se incorporan en forma simultánea las fibras ópticas y la solución acuosa con cloruro de sodio como dopante ya que de esta forma se obtiene la mayor eficiencia de detección de neutrones y fotones gamma, y se intensifica la intensidad de la señal de cada fotón gamma o evento registrado.

[0031] Por lo tanto, mediante el detector Cherenkov de la presente invención se logra superar las desventajas de los detectores Cherenkov en agua conocidos en la técnica. Esto se logra debido a la utilización de un elemento abundante, no tóxico, no contaminante y económico, como una solución acuosa de cloruro de sodio en carácter

de volumen activo en el detector de la presente invención; al empleo de un solo dispositivo sensor de luz ópticamente acoplado al recipiente y a la utilización de fibras ópticas que permiten aumentar la intensidad de la señal de cada evento registrado y la eficiencia en la detección de neutrones térmicos, neutrones rápidos y fotones gamma, mediante un diseño del detector más sencillo y por lo tanto más económico.

[0032] La invención contempla el uso del compuesto de alto índice de refracción, tal como CS₂, en el detector de la presente invención puede estar diluido en agua pura, en la solución acuosa de NaCl o solamente puro.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

[0033] La Figura 1A es una vista esquemática de una forma de realización del detector de la presente invención.

[0034] La Figura 1B es una vista esquemática de una forma de realización más preferida del detector de la presente invención.

[0035] La Figura 1C es una vista esquemática de otra forma de realización del detector de la Figura 1B.

[0036] La Figura 2A es un gráfico que muestra la respuesta del detector de la Figura 1A cuando se lo expone a una fuente de ²⁵²Cf emisora de neutrones.

[0037] La Figura 2B es un gráfico que muestra la respuesta del detector de la Figura 1A cuando se lo expone a una fuente ¹³⁷Cs emisora de radiación gamma.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

[0038] La presente invención se describirá en mayor detalle a continuación, haciendo referencia a las figuras anexas que ilustran formas de realización de la invención a modo de ejemplo, las cuales no deben ser interpretadas como limitantes de la misma.

[0039] En cada una de las figuras se emplean las mismas referencias numéricas para cada elemento del detector de la presente invención.

[0040] La presente invención se refiere a un detector capaz de detectar neutrones térmicos, neutrones rápidos y fotones gamma que se basa en un detector de radiación Cherenkov en agua.

[0041] A los efectos de la presente invención, a menos que se indique de otra manera, la expresión "solución acuosa" se utiliza de modo indistinto para referirse a una solución acuosa de NaCl, una solución acuosa de NaCl que contiene además CS₂, o una solución acuosa con CS₂ únicamente, según el contexto en que se la utiliza.

[0042] Asimismo, a los efectos de la presente invención la expresión "estanco a la luz" cuando se la usa para describir al recipiente, o a las tapas del mismo, del detector de la presente invención se refiere a que no permite que ingrese la luz exterior o ambiente al recipiente pero aun así no se encuentra blindado a los gammas y neutrones existentes en el fondo natural de radiación. Por su parte, la expresión "ópticamente acoplado", usada para describir la forma en que se encuentra dispuesto el dispositivo sensor de luz, se refiere a que dicho dispositivo se encuentra posicionado de forma de recibir la mayor cantidad de fotones Cherenkov generados dentro del recipiente de la presente invención. Esta mayor recepción de fotones por parte del dispositivo sensor de luz puede lograrse, por ejemplo, sujetando dicho dispositivo sensor de luz a una tapa del recipiente y orientándolo hacia adentro, es decir hacia la solución acuosa; o colocando el dispositivo sensor de luz afuera del recipiente y alojado dentro de otro volumen estanco a la luz ambiente.

[0043] La Figura 1A muestra una vista esquemática de una forma de realización del detector de la presente invención que comprende un recipiente cilíndrico 1, un dispositivo sensor de luz 2, una solución acuosa 3 de NaCl que constituye el volumen activo del recipiente 1, un par de tapas 5 y un recubrimiento interior 6.

[0044] Tal como se aprecia en la Figura 1A el recipiente cilíndrico 1 tiene las tapas 5 colocadas en cada uno de sus extremos y contiene en su interior al dispositivo sensor de luz 2, la solución acuosa 3, el recubrimiento interior e.

[0045] El recipiente cilíndrico 1 está construido preferiblemente de acero al carbono o acero inoxidable.

[0046] El dispositivo sensor de luz 2 se encuentra ópticamente acoplado al volumen activo, siendo capaz de minimizar las reflexiones en la interfase, maximizando así el

número de fotones Cherenkov detectados. Este acople óptico se logra evitando la formación de volúmenes indeseados (por ejemplo, burbujas), entre la solución acuosa **3** y el dispositivo sensor de luz **2**, que posean un índice de refracción diferente al de la solución acuosa **3** que pudiera generar reflexiones indeseadas, y por lo tanto pérdidas de la luz Cherenkov. El dispositivo sensor de luz **2** se encuentra sujeto a una de las tapas **5** del recipiente cilíndrico **1**, orientando hacia adentro, es decir hacia la solución acuosa **3**, en donde dichas tapas **5** pueden ser del mismo material que el recipiente **1**, son estancas a la luz exterior, y cierran el volumen activo por ejemplo mediante roscado, abulonado u otro tipo de cierre estanco a la luz.

[0047] En una forma de realización de la presente invención, el dispositivo sensor de luz **2** es seleccionado del grupo que comprende un tubo fotomultiplicador, un fotomultiplicador de silicio, un sensor CMOS y un sensor CCD, entre otros.

[0048] En una forma de realización preferida de la presente invención, la solución acuosa **3** puede comprender rangos entre 0,5 % y 36 % de NaCl en masa, entre 2 % y 25 % de NaCl en masa, entre 3 % y 15 % de NaCl en masa, entre 5 % y 10 % de NaCl en masa, entre otros. En una forma de realización más preferida, la solución acuosa comprende 5 % en masa de NaCl lo cual aumenta la probabilidad de captura neutrónica en el Cl del NaCl y, por ende, la eficiencia de detección de neutrones del detector.

[0049] En una forma de realización de la presente invención, la solución acuosa de NaCl puede comprender, además, un compuesto de alto índice de refracción como puede ser disulfuro de carbono (CS₂), el cual se usa en los casos en los que se desea detectar radiación consistente en fotones gamma de baja energía.

[0050] En una forma de realización preferida de la presente invención, el recubrimiento interior **6** utilizado es una tela de polietileno de alta densidad de color blanco que refleja y difunde fotones Cherenkov aumentando la probabilidad de que dichos fotones sean detectados. Preferiblemente, el tejido de polietileno de alta densidad utilizado es comercializado bajo la marca Tyvek por DuPont. El tejido

utilizado tiene una superficie rugosa que facilita la propagación de fotones Cherenkov debido a que como la radiación Cherenkov se produce de forma coherente, una reflexión especular no aumentaría significativamente la probabilidad de recolección de fotones y haría que la detección de la radiación incidente dependa mucho de la dirección de propagación. Dicho tejido es adherido en el interior del recipiente cilíndrico 1 utilizando un adhesivo basado en silicona comercial transparente, lo cual permite recubrir la superficie interior del recipiente 1 de manera uniforme.

[0051] La detección de neutrones térmicos en el detector Cherenkov de la Figura 1A se logra cuando dichos neutrones, provenientes de un emisor externo al detector, son capturados por los núcleos de cloro del cloruro de sodio de la solución acuosa 3, emitiendo fotones gamma. Dichos fotones interactúan con la solución acuosa por efecto Compton, efecto fotoeléctrico y/o creación de pares, generándose así electrones con velocidades mayores a la de luz en dicho medio, superándose así el umbral Cherenkov y produciéndose así radiación Cherenkov que puede ser detectada utilizando el dispositivo sensor de luz 2 que emite la señal de interés. Es por ello que la detección de neutrones es indirecta. Del mismo modo, el detector de la presente invención permite incluso la detección de neutrones rápidos debido a que el líquido sirve como moderador de neutrones convirtiendo los neutrones rápidos en neutrones térmicos. Por su parte, la detección de fotones gamma, tanto de aquellos provenientes desde fuera del detector como de aquellos emitidos por el CI luego de la captura neutrónica, se logra mediante la interacción de estos fotones con la solución mediante los efectos fotoeléctrico, Compton y/o de creación de pares.

[0052] Más precisamente, luego de la captura de neutrones por parte de los iones cloruro cuando el detector Cherenkov de la Figura 1A es expuesto a una fuente radiactiva emisora de neutrones (no mostrada), se emiten fotones gamma de 8,5 MeV de energía, la cual es mayor que la energía de los fotones emitidos luego de la captura neutrónica por parte del gadolinio en la patente estadounidense US 8373133 B2, permitiendo obtener una mayor intensidad de señal Cherenkov.

[0053] Es necesario aclarar que el fotón gamma de mayor energía emitido luego de producirse la absorción neutrónica en ^{155}Gd es de 1,965 MeV, mientras que el fotón gamma de mayor energía emitido luego de que el ^{157}Gd absorbe un neutrón es de 6,750 MeV. Por su parte, el fotón gamma de mayor energía emitido luego de que el ^{35}Cl absorbe un neutrón es de 8,578 MeV (ver *"Database of prompt gamma rays from slow neutron capture for elemental analysis"*) y que las energías reportadas en la patente mencionada arriba se refieren a la suma total de la energía de todos los fotones gamma producidos por lo que no se puede tener en cuenta en el detector de la presente invención debido a que no todos los fotones gamma contribuyen a la señal, ya sea porque algunos fotones gamma escapan del detector, y/o porque una o varias partículas no superan la energía mínima o umbral para poder generar efecto Cherenkov en el agua, por lo que se toma el fotón gamma de mayor energía que es el que generará una señal mucho mayor en función de su capacidad para producir partículas secundarias en el interior del detector con energía suficiente como para producir señales, es decir fotones, Cherenkov. Dicha señal producida por los fotones gamma de mayor energía producirá un mayor número de fotones Cherenkov que el producido por un fotón gamma de menor energía y, por lo tanto, producirá una señal de mayor intensidad. La señal colectada es procesada realizando un espectro de la intensidad de la señal de los eventos o fotones detectados, intensidad que es directamente proporcional a la carga colectada en cada evento. El espectro consiste de un histograma de las intensidades de los diferentes eventos registrados, las cuales son clasificadas en un número entero de canales discretos. Se entiende por "canal" el eje horizontal de dicho histograma, mientras que el eje vertical del histograma informa el número de eventos registrado en cada canal. De este modo, cada canal corresponde a un cierto rango de intensidades de la señal. Por lo tanto, los eventos son registrados en canales mayores conforme aumenta la intensidad de la señal. De este modo, en el espectro de carga de los eventos detectados, estos eventos de mayor intensidad serán registrados en canales mayores que los producidos por

fotones gamma de menor energía. Estos eventos de mayor intensidad son registrados en canales en los cuales el ruido debido al fondo natural de radiación y al ruido electrónico es significativamente menor, mejorando de esta manera la relación señal/ruido del detector.

[0054] La Figura 1B muestra una vista esquemática de una forma de realización más preferida del detector de la presente invención con una configuración sustancialmente similar al de la Figura 1A pero con el agregado de una pluralidad de fibras ópticas 4 en su interior, dentro de la solución acuosa 3 de cloruro de sodio y acopladas al dispositivo sensor de luz 2, con la finalidad de mejorar la eficiencia de detección de neutrones del detector.

[0055] El funcionamiento de dicho detector es sustancialmente el mismo que el descrito más arriba con respecto al detector de la Figura 1A, con la excepción de que una vez se producen los fotones Cherenkov en el seno de la solución acuosa 3, éstos serán colectados, conformados en longitud de onda y transportados hacia el dispositivo sensor de luz 2 mediante la pluralidad de fibras ópticas 4. Dicho dispositivo sensor de luz 2, para esta forma de realización, puede estar alojado afuera del recipiente 1, tal como se muestra en la Figura 1B, dentro de otro recipiente o volumen estanco a la luz (no mostrado) o puede estar también dentro del recipiente 1 sujeto a una tapa 5 del recipiente 1 y ópticamente acoplado a la solución acuosa 3 tal como en la Figura 1A. El acople óptico entre la pluralidad de fibras ópticas 4 y dispositivo sensor de luz 2 se realiza utilizando grasa óptica, material que posee un índice de refracción similar al índice de refracción de la pluralidad de fibras ópticas 4, evitándose así las reflexiones de luz indeseadas que se producirían en la interfaz de aire que existiría entre la pluralidad de fibras ópticas 4 y el dispositivo sensor de luz 2 si no se utilizara grasa óptica para rellenar esta interfaz.

[0056] En una forma de realización preferida, la pluralidad de fibras ópticas 4 son fibras ópticas centelladoras con cambiador de longitud de onda (WLS) con

revestimiento múltiple, con el fin de mejorar la eficiencia de detección de neutrones de dicho detector.

[0057] En una forma de realización aún más preferida de la presente invención, dicha pluralidad de fibras ópticas **4** comprende siete fibras ópticas de sección circular, una central y seis en su periferia, de 1,25 mm de diámetro cada una, colocadas en el centro del recipiente.

[0058] Al utilizar fibra óptica WLS, la luz Cherenkov (mayormente emitida en la región que abarca desde el ultravioleta cercano hasta el azul del espectro visible) que interactúa con dicha fibra es reemitida (mayormente en el verde del espectro visible) en todas las direcciones, quedando un importante ángulo sólido de dicha reemisión cubierto por el rango angular de captación y transporte de la fibra óptica WLS, la cual funciona para dichos fotones reemitidos como guía de ondas, permitiendo así coleccionar una importante fracción de la luz Cherenkov, reemitirla en longitudes de onda en las que el dispositivo sensor de luz es más sensible y transportarla grandes distancias hacia el detector de luz con mínima pérdida de fotones.

[0059] Como se apreciará más adelante, el agregado de la pluralidad de fibras ópticas **4** produce una mejora notable de la eficiencia de detección de neutrones y de la intensidad de los pulsos que constituyen la señal detectada por el detector.

[0060] La Figura 1C muestra otra forma de realización del detector de la Figura 1B. Dicha forma de realización consiste en la implementación de varios detectores correspondientes al de la Figura 1B, pudiendo disponerse de 2, 3, 4, 5 o más de dichos detectores (en la Figura 1C se muestran cuatro), en donde los recipientes cilíndricos **1** de cada uno de dichos detectores se colocan paralelos entre sí y de manera adyacente. Cada recipiente cilíndrico **1** cuenta con un dispositivo sensor de luz **2** en uno de sus extremos, independientes entre sí, que al igual que en la forma de realización de la Figura 1B pueden estar dentro del recipiente **1** o afuera de éste dentro de otro recipiente estanco a la luz (no mostrado), y que permiten detectar la presencia de neutrones y fotones gamma de cada solución acuosa **3** en forma

independiente. Esta implementación permite que distintas soluciones acuosas estén dopadas con diferentes absorbentes de neutrones y/o fotones gamma, permitiendo así discriminar la contribución a la señal debida a neutrones de la contribución debida a fotones gamma.

EJEMPLOS DE REALIZACIÓN

[0061] La figura 2A es un gráfico que muestra resultados experimentales del detector de la Figura 1A cuando se lo expone a una fuente emisora de neutrones. En ella se comparan el espectro de carga integrada de los pulsos obtenidos luego de una medición de 5 minutos en presencia de una fuente de neutrones de ^{252}Cf (Californio) empleando agua pura (H_2O), el cual se representa en el gráfico en forma de círculos huecos, con el espectro obtenido utilizando agua con NaCl diluido en una concentración de aproximadamente 25 g/l, es decir 2,5% de NaCl en masa, el cual se representa en el gráfico en forma de cuadrados macizos. En ambos casos se sustrajo un espectro, previamente adquirido durante 5 minutos en ausencia de la fuente, producido por el fondo natural de radiación ambiente, obteniéndose así el espectro debido sólo a los neutrones emitidos por la fuente. Cabe aclarar que el detector no fue blindado para reducir la contribución al conteo debida a los neutrones y gammas existentes en el fondo natural.

[0062] Al día del experimento, la emisión de neutrones rápidos de dicha fuente de californio era de $(2,7 \pm 0,1) \cdot 10^3$ neutrones por segundo. Entre la fuente y el detector se colocó una pared construida con ladrillos de plomo de 10 cm de espesor. También se colocó un bloque de plomo debajo de la fuente a fin de reducir la cantidad de fotones que luego de interactuar con el piso arribaban al detector. Dicha pared de plomo entre la fuente y el detector y dicho bloque de plomo debajo de la fuente permitieron atenuar prácticamente la totalidad de la contribución a los espectros debida a la radiación gamma emitida por dicha fuente. La distancia entre el centro de la fuente y la superficie exterior del detector fue de aproximadamente 11 cm.

[0063] La Figura 2B es un gráfico que muestra resultados experimentales del detector de la Figura 1A cuando se lo expone a una fuente de radiación gamma. En él se comparan el espectro de carga integrada de los pulsos obtenidos luego de una medición de 5 minutos en presencia de una fuente de radiación gamma de ^{137}Cs (Cesio) empleando H_2O , el cual se representa en el gráfico en forma de triángulos huecos con el vértice hacia abajo, con el espectro obtenido utilizando agua con NaCl diluido en una concentración de aproximadamente 25 g/l, el cual se representa en el gráfico en forma de triángulos macizos con el vértice hacia arriba. En ambos casos se sustrajo un espectro, previamente adquirido durante 5 minutos en ausencia de la fuente, producido por el fondo natural de radiación, obteniéndose así el espectro debido sólo a los fotones emitidos por la fuente.

[0064] Dicha fuente emitía principalmente fotones gamma de 661,7 keV y poseía una actividad de 370,4 Bq (10,01 μCi). Además, dicha fuente gamma fue colocada en contacto con la superficie exterior del detector Cherenkov. Al igual que en el caso de la fuente de neutrones mencionada arriba, el centro de la fuente gamma fue colocado a aproximadamente la misma altura que el centro del volumen activo de detección (aproximadamente 66,5 cm por sobre la superficie en la que se encuentra apoyado el detector).

[0065] Para las Figuras 2A y 2B el eje horizontal del gráfico indica unidades arbitrarias del conversor analógico digital utilizado (ADCq, por sus siglas en inglés) y el eje vertical indica, en escala logarítmica, el número de eventos registrados en cada canal de pulsos de la electrónica utilizada para digitalizar y registrar las señales.

[0066] De las Figuras 2A y 2B puede verse que el número de eventos registrados al utilizar NaCl diluido en agua es significativamente mayor que el obtenido al utilizar agua pura en las mismas condiciones experimentales. Esto se debe, en el caso de la detección de neutrones, a que luego de la reacción nuclear con el cloro se emiten numerosos fotones gamma, la mayoría de los cuales superan los 2,22 MeV, llegando hasta 8,58 MeV. La energía de la mayoría de estos fotones gamma es

considerablemente mayor que la energía liberada luego de la absorción neutrónica en el H (hidrógeno) del H₂O (2,22 MeV).

[0067] Además, en dicha Figura 2A se aprecia que la captura de neutrones en el cloro del cloruro de sodio respecto a la captura en el hidrógeno del agua no sólo incrementa el número de detecciones sino que, además, dicho incremento se produce predominantemente mediante fotones significativamente más energéticos que el umbral Cherenkov. Este incremento en la energía del fotón gamma intermediario se manifiesta en un incremento en el número de eventos registrados con gran número de unidades arbitrarias del conversor analógico digital. Este incremento es significativamente favorable considerando que la frecuencia de conteo de radiación de fondo (que desde un punto de vista de la detección de los materiales de interés es ruido), decrece significativa y monótonamente conforme aumenta el canal de ADCq analizado, mejorando la relación señal a ruido mediante la elección de un umbral de detección más alto.

[0068] La Tabla 1 a continuación muestra resultados obtenidos a partir de la configuración experimental de la Figura 2A. En ella se muestran los eventos registrados en presencia del fondo natural de radiación y luego de colocar la fuente de neutrones de ²⁵²Cf. Se comparan los resultados utilizando agua pura y agua con NaCl diluido. En la última columna se indica la intensidad de la señal de interés, obtenida calculando la diferencia entre los eventos registrados con y sin fuente.

Tabla 1:

Número de eventos registrados en presencia de la fuente de neutrones (²⁵²Cf) y en presencia del fondo natural de radiación (fondo) obtenidos en un experimento comparativo. La diferencia de eventos registrados (²⁵²Cf-fondo) da cuenta de los neutrones detectados que fueron emitidos por dicha fuente:

Volumen activo	^{252}Cf	Fondo	^{252}Cf - fondo
H ₂ O	4.731.330	4.503.122	228.208
H ₂ O con 25 g/l de NaCl	9.306.656	8.243.514	1.063.142

[0069] La primera columna muestra los volúmenes activos que se usaron en el experimento (H₂O y H₂O con 25 g/l de NaCl), la segunda columna muestra los eventos registrados por el detector luego de colocar la fuente de neutrones de ^{252}Cf , la tercera columna muestra los eventos registrados en presencia del fondo natural de radiación y la última columna indica la intensidad de la señal de interés, obtenida calculando la diferencia entre los eventos registrados con y sin fuente.

[0070] Como puede verse en dicha tabla, el número de neutrones detectados en 5 minutos al utilizar NaCl diluido en agua (1.063.142) es considerablemente mayor al número detectado al utilizar agua pura (228.208). El agregado de 25 g/l de NaCl en el agua produjo un incremento de la tasa de conteo del 365%.

[0071] La Tabla 2 a continuación muestra resultados obtenidos a partir de la configuración experimental de la Figura 2B. En ella se muestran los eventos registrados en presencia del fondo natural de radiación y luego de colocar la fuente de radiación gamma de ^{137}Cs . Se comparan los resultados utilizando agua pura y agua con NaCl diluido. En la última columna se indica la intensidad de la señal de interés, obtenida calculando la diferencia entre los eventos registrados con y sin fuente.

Tabla 2:

Número de eventos registrados en presencia de la fuente de radiación gamma (^{137}Cs) y en presencia del fondo natural de radiación (fondo) obtenidos en un experimento comparativo. La diferencia de eventos registrados (^{137}Cs -fondo) da cuenta de los fotones gamma que fueron emitidos por dicha fuente

Volumen activo	¹³⁷ Cs	Fondo	¹³⁷ Cs-fondo
H ₂ O	11.537.594	11.087.238	450.356
H ₂ O con 25g/l de NaCl	10.982.062	9.058.152	1.923.910

[0072] La primera columna muestra los volúmenes activos que se usaron en el experimento (H₂O y H₂O con 25 g/l de NaCl), la segunda columna muestra los eventos registrados por el detector luego de colocar la fuente de radiación gamma de ¹³⁷Cs, la tercera columna muestra los eventos registrados en presencia del fondo natural de radiación y la última columna indica la intensidad de la señal de interés, obtenida calculando la diferencia entre los eventos registrados con y sin fuente

[0073] Como puede verse en dicha tabla, el número de fotones gamma detectados en 5 minutos al utilizar NaCl diluido en agua (1.923.910) es considerablemente mayor al número detectado al utilizar agua pura (450.356). El agregado de 25 g/l de NaCl en el agua produjo un incremento de la tasa de conteo del 327%. Esta mejora significativa en el conteo pone en evidencia las ventajas de utilizar detectores como el de la Figura 1A para detectar en forma no intrusiva el tráfico ilegal de materiales nucleares especiales, de residuos radiactivos, etc.

[0074] Cabe destacar que los valores reportados en las tablas 1 y 2 fueron obtenidos integrando los espectros de carga de los pulsos registrados de las Figuras 2A y 2B respectivamente.

[0075] Por lo tanto, con los resultados ilustrados en las Figuras 2A y 2B y en las Tablas 1 y 2, se demuestra experimentalmente que el detector correspondiente a la Figura 1A es capaz de detectar los neutrones emitidos por una fuente de ²⁵²Cf, como así también los fotones gamma emitidos por una fuente de ¹³⁷Cs.

[0076] A continuación, se presenta la Tabla 3 que muestra diferentes eficiencias de detección de neutrones. Se realizaron dos ensayos consistentes en simulaciones numéricas, considerando en cada uno de ellos el detector de la presente invención, teniendo en el primer caso una solución acuosa con cloruro de sodio y sin una

pluralidad de fibras ópticas, configuración que corresponde con la forma de realización de la Figura 1A; y, en el segundo caso, una solución acuosa con cloruro de sodio y con la pluralidad de fibras ópticas, configuración que corresponde con la forma de realización de la Figura 1B. Cada una de las eficiencias obtenidas en dichos ensayos se muestra con su correspondiente incerteza estadística.

[0077] Si bien una concentración del 2,5 % de NaCl en masa produce una diferencia apreciable, se recomienda una concentración de al menos 5 % de NaCl en masa puesto que es el valor de concentración en el que las probabilidades de captura neutrónica en el H del H₂O y en el Cl del NaCl se igualan.

Tabla 3:

Eficiencia intrínseca de detección de neutrones de un experimento comparativo:

Solución salina NaCl (5% en peso)	Solución salina NaCl (5 % en peso) con mazo de fibras ópticas
(30,7±6,4)%	(45,6±7,2)%

[0078] La primera columna muestra la eficiencia de detección de neutrones del detector teniendo éste únicamente una solución acuosa con cloruro de sodio y la segunda columna muestra la eficiencia de detección de neutrones del detector teniendo éste una solución acuosa con cloruro de sodio y una pluralidad de fibras ópticas.

[0079] En el caso donde se usa la pluralidad de fibras ópticas, ésta consiste en siete fibras ópticas WLS de diámetro 1,25 mm, una central y seis en su periferia, colocadas en el centro del recipiente.

[0080] En dicho ensayo se inyectaron 10⁵ neutrones, con energías entre 10⁻⁸ MeV (neutrones térmicos) y 2 MeV (neutrones rápidos) que inciden sobre el centro del recipiente en la dirección normal al eje longitudinal del mismo. Se hicieron 20 realizaciones de este procedimiento con el fin de minimizar las fluctuaciones introducidas por la aleatoriedad intrínseca de los ensayos. La eficiencia de detección

se calculó como el cociente entre el número de eventos detectados por el detector y el número de neutrones incidentes.

[0081] Como se ha demostrado arriba, la incorporación de la pluralidad de fibras ópticas dentro del volumen activo (a fin de coleccionar, conformar en longitud de onda y transportar los fotones Cherenkov generados en el seno del líquido) mejora notablemente la eficiencia de detección de neutrones y la intensidad de los pulsos que constituyen la señal detectada por el detector.

[0082] Es necesario destacar las ventajas obtenidas en el detector de la presente invención no eran de ningún modo evidentes ni esperables, entre ellas, que el volumen de solución acuosa considerado resultase suficiente como para coleccionar eficientemente los fotones gamma generados en el seno de dicha solución, que dicha solución generase la suficiente luz Cherenkov para conformar una señal medible por sobre el ruido electrónico existente en el detector experimental, que el agregado de cloruro de sodio (en cantidad suficiente para dominar la absorción neutrónica por sobre el agua) no afectase significativamente la transparencia de la solución en el rango de longitudes de onda de la luz Cherenkov en el cual el dispositivo sensor de luz (por ejemplo, un tubo fotomultiplicador) posee una eficiencia cuántica importante y, finalmente, que la incorporación de fibras ópticas fuese a producir una suficiente colección, conformación de longitud de onda y transporte de la luz reemitida.

REIVINDICACIONES

1. Un detector de neutrones térmicos, neutrones rápidos y fotones gamma, que comprende:
 - un recipiente que comprende al menos una tapa;
 - un recubrimiento reflector y difusor de fotones en el interior del recipiente;
 - una solución acuosa contenida en el recipiente, la cual comprende cloruro de sodio (NaCl); y
 - un dispositivo sensor de luz ópticamente acoplado a la solución acuosa.
2. El detector de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el material del recipiente y de la al menos una tapa es seleccionado, independientemente, del grupo que comprende materiales metálicos, materiales poliméricos y materiales compuestos.
3. El detector de acuerdo con la reivindicación 2, en donde los materiales metálicos se seleccionan del grupo que comprende acero al carbono y acero inoxidable.
4. El detector de acuerdo con la reivindicación 2, en donde los materiales poliméricos comprenden PVC.
5. El detector de acuerdo con la reivindicación 2, en donde los materiales compuestos comprenden fibra de vidrio y resina epoxi.
6. El detector de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el recipiente tiene una forma geométrica seleccionada del grupo que comprende las formas cilíndrica, cúbica, paralelepípedica de base rectangular, esférica.
7. El detector de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el recipiente es estanco a la luz exterior.

8. El detector de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la al menos una tapa es estanca a la luz exterior y puede ser accionada entre una posición abierta y una posición cerrada.
9. El detector de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el dispositivo sensor de luz es seleccionado del grupo que comprende un tubo fotomultiplicador, un fotomultiplicador de silicio, un sensor CMOS y un sensor CCD, entre otros.
10. El detector de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la solución acuosa comprende entre 0,5 % y 36 % de NaCl en masa.
11. El detector de acuerdo con la reivindicación 10, en donde la solución acuosa comprende entre 2 % y 25 % de NaCl en masa.
12. El detector de acuerdo con la reivindicación 11, en donde la solución acuosa comprende entre 3 % y 15 % de NaCl en masa.
13. El detector de acuerdo con la reivindicación 12, en donde la solución acuosa comprende entre 5 % y 10 % de NaCl en masa.
14. El detector de acuerdo con la reivindicación 13, en donde la solución acuosa comprende un 5 % de cloruro de sodio en masa.
15. El detector de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la solución acuosa de NaCl comprende, además, un compuesto de alto índice de refracción.
16. El detector de acuerdo con la reivindicación 15, en donde el compuesto de alto índice de refracción es disulfuro de carbono (CS₂).
17. El detector de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el recubrimiento reflector y difusor de fotones es una tela de polietileno de alta densidad de color blanco.
18. El detector de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde comprende, además, en el interior del recipiente, una pluralidad de fibras ópticas acopladas al dispositivo sensor de luz.

19. El detector de acuerdo con la reivindicación 18, en donde la pluralidad de fibras ópticas se acoplan al dispositivo sensor de luz mediante fibra óptica.
20. El detector de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el dispositivo sensor de luz está sujeto a la al menos una tapa.
21. El detector de acuerdo con la reivindicación 18 o 19, en donde el dispositivo sensor de luz se encuentra afuera del recipiente, dentro de otro recipiente o volumen estanco a la luz.
22. El detector de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 18 a 21, en donde la pluralidad de fibras ópticas son fibras ópticas centelladoras con cambiador de longitud de onda con revestimiento múltiple.
23. El detector de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 18 a 22, en donde dicha pluralidad de fibras ópticas comprende siete fibras ópticas de sección circular, una central y seis en su periferia, de 1,25 mm de diámetro cada una, colocadas en el centro del recipiente.

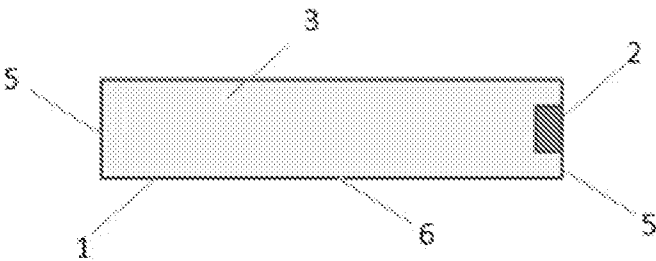


FIGURE 1A

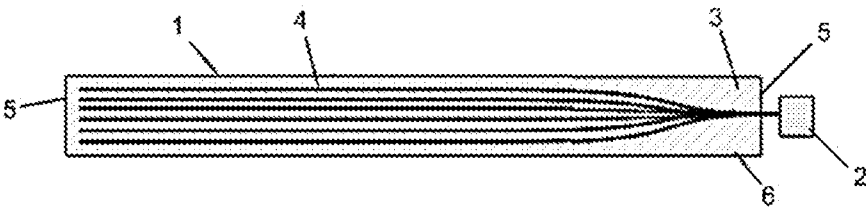


FIGURE 1B

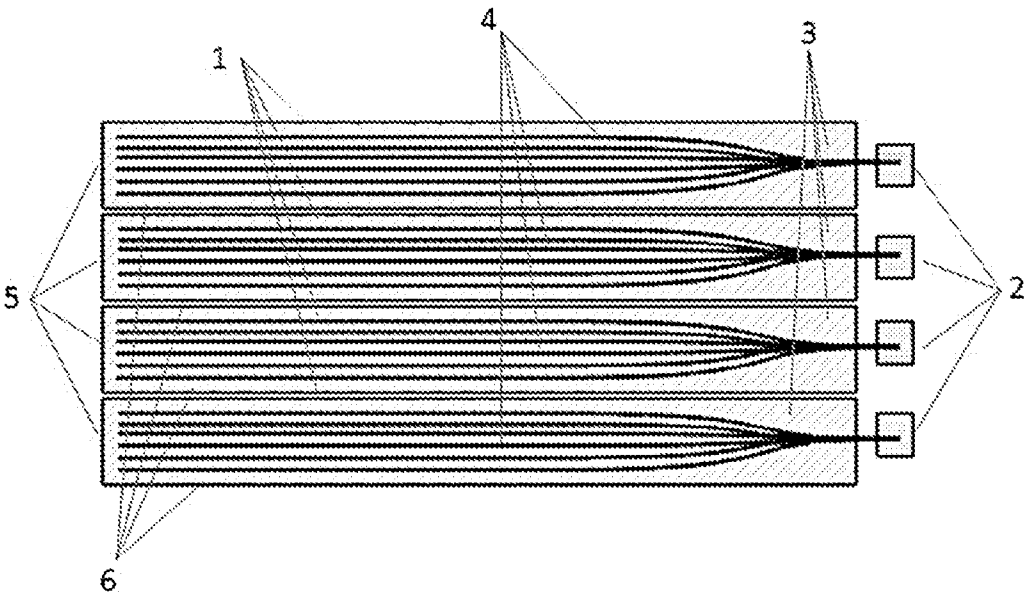


FIGURE 1C

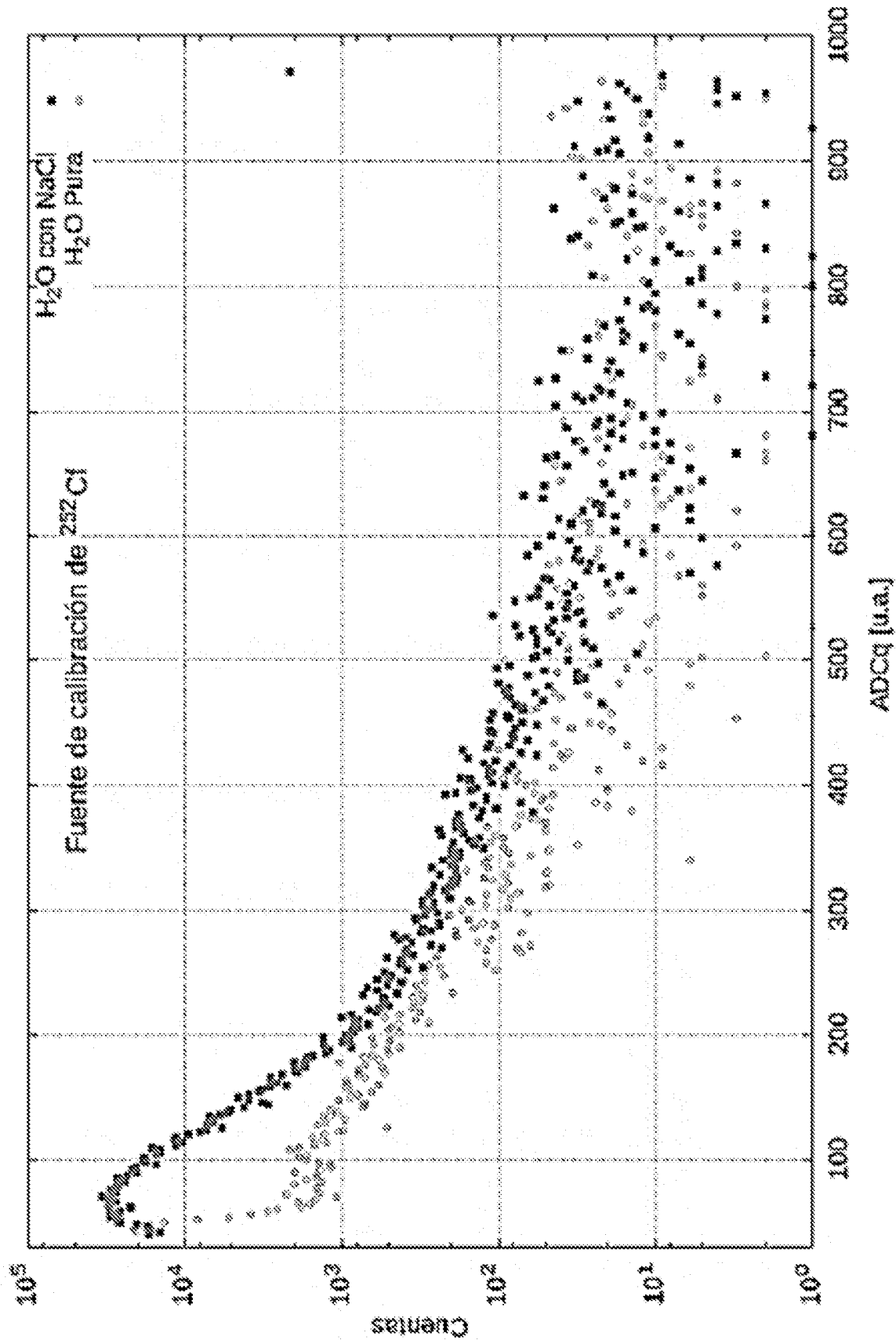


FIGURA 2A

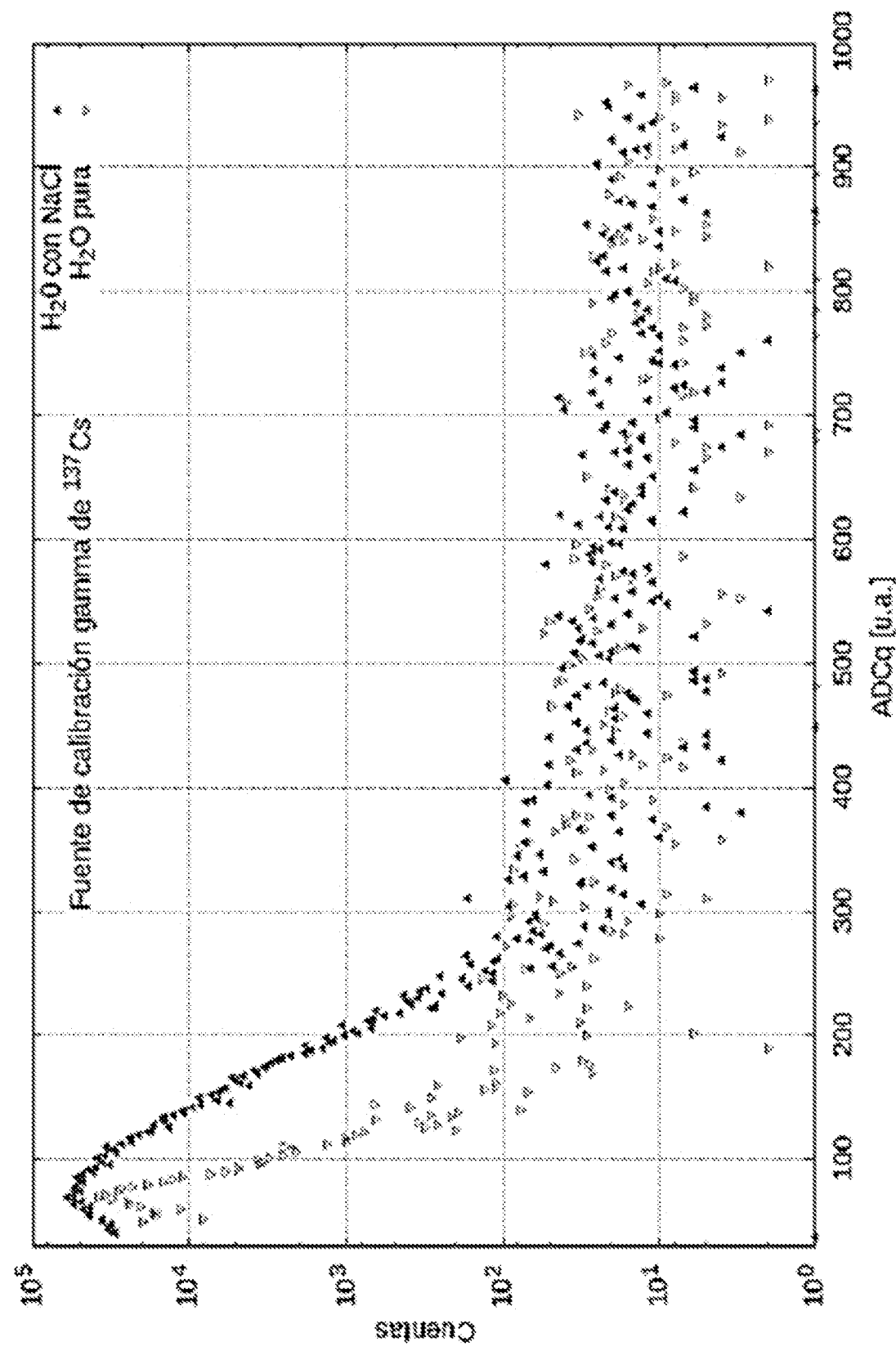


FIGURA 2B

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional N°

PCT/IB2020/050869

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

G01T1/20

G01T3/06

G01T1/22

G01T3/00

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)

G01T

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)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones N°
Y	US 2012/307952 A1 (WILSON TAYLOR RAMON [US]) 06 de diciembre de 2012 (06.12.2012) mencionado en la solicitud resumen figuras 1, 2 párrafos [0018] - [0023] -/-	1,2,4-7, 9-16,18, 19,21-23

☒ 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.	"X"	documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.
"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.	"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.
"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).	"&"	documento que forma parte de la misma familia de patentes.
"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.		

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.
05 de junio de 2020 (05.06.2020)

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional
17 de junio de 2020 (17.06.2020)

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Funcionario autorizado

Santen, Nicole

N° de fax

N° de teléfono

C (continuación). DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES		
Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones N°
Y	IVÁN SIDELNIK ET AL: "Neutron detection using a water Cherenkov detector with pure water and a single PMT", NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH. SECTION A, vol. 876, 16 de febrero de 2017 (16.02.2017) páginas 153-155, XP055700273, NL ISSN: 0168-9002, DOI: 10.1016/j.nima.2017.02.048 resumen figura 1 sección 2, el detector	1-14,17, 20
Y	----- US 8 373 133 B2 (L LIVERMORE NAT SECURITY LLC [US]; DAZELEY STEVEN A [US] ET AL.) 12 de febrero de 2013 (12.02.2013) mencionado en la solicitud resumen figuras 1, 2 columna 2, líneas 41-67 columna 4, línea 43 - columna 5, línea 12 columna 5, líneas 30-35 columna 6, líneas 29-58	1,2,4-7, 9-14,17, 20
Y	----- Sanin: "Nuclear Science Abstracts" In: "Nuclear Science Abstracts", 15 de mayo de 1970 (15.05.1970), Oak Ridge operaciones dirigidas, informacion técnica división, XP055700854, página 1673, resumen No 16861; figura 1673, columna derecha	1-23
Y	----- BUTTRAM M ET AL: "Cherenkov Light as a Current Density Diagnostic for Large Area, Repetitively Pulsed Electron Beams", IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 34, no. 4, 01 de agosto de 1983 (01.08.1983) páginas 2216-2218, XP011223220, ISSN: 0018-9499 página 2216, columna derecha primer párrafo tabla I -----	15,16
	-/--	

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional N°

PCT/I B2020/050869

C (continuación).

DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones N°
Y	VERZILOV Y ET AL: "Development of a new fusion power monitor based on activation of flowing water", FUSION ENGINEERING AND DESIGN, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, AMSTERDAM, NL, vol. 81, no. 8-14, 01 de febrero de 2006 (01.02.2006), páginas 1477-1483, XP027974637, ISSN: 0920-3796 [recuperado el 01.02.2006] resumen figuras 1, 2 sección 2 -----	18,19, 21-23

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Información relativa a miembros de familias de patentes

Solicitud internacional N°

PCT/IB2020/050869

US 2012307952 AI 06-12-2012 NINGUNA

US 8373133 B2 12-02-2013 NINGUNA

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/IB2020/050869

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G01T1/20 G01T3/06 G01T1/22 G01T3/00
ADD.

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)

G01T

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)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2012/307952 A1 (WILSON TAYLOR RAMON [US]) 6 December 2012 (2012-12-06) cited in the application abstract figures 1,2 paragraphs [0018] - [0023] ----- -/-	1,2,4-7, 9-16,18, 19,21-23

☒ 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 application or patent 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 such 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

5 June 2020

Date of mailing of the international search report

17/06/2020

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Santen, Nicole

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/IB2020/050869

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	IVÁN SIDELNIK ET AL: "Neutron detection using a water Cherenkov detector with pure water and a single PMT", NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH. SECTION A, vol. 876, 16 February 2017 (2017-02-16), pages 153-155, XP055700273, NL ISSN: 0168-9002, DOI: 10.1016/j.nima.2017.02.048 abstract figure 1 section 2. The detector	1-14,17, 20
Y	US 8 373 133 B2 (L LIVERMORE NAT SECURITY LLC [US]; DAZELEY STEVEN A [US] ET AL.) 12 February 2013 (2013-02-12) cited in the application abstract figures 1, 2 column 2, lines 41-67 column 4, line 43 - column 5, line 12 column 5, lines 30-35 column 6, lines 29-58	1,2,4-7, 9-14,17, 20
Y	Sanin: "Nuclear Science Abstracts" In: "Nuclear Science Abstracts", 15 May 1970 (1970-05-15), Oak Ridge Directed Operations, Technical Information Division, XP055700854, page 1673, Abstract No 16861; page 1673, right-hand column	1-23
Y	BUTTRAM M ET AL: "Cherenkov Light as a Current Density Diagnostic for Large Area, Repetitively Pulsed Electron Beams", IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 34, no. 4, 1 August 1983 (1983-08-01) , pages 2216-2218, XP011223220, ISSN: 0018-9499 page 2216, right-hand column, first paragraph table I	15,16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/ I B2020/050869

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	VERZILOV Y ET AL: "Development of a new fusion power monitor based on activation of flowing water", FUSION ENGINEERING AND DESIGN, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, AMSTERDAM, NL, vol. 81, no. 8-14, 1 February 2006 (2006-02-01), pages 1477-1483, XP027974637, ISSN: 0920-3796 [retrieved on 2006-02-01] abstract figures 1, 2 section 2. -----	18,19, 21-23

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/IB2020/050869

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2012307952	A1	06-12-2012	NONE	

US 8373133	B2	12-02-2013	NONE	
