

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 956 832**

21 Número de solicitud: 202230433

51 Int. Cl.:

G21F 7/00 (2006.01)

G21F 5/04 (2006.01)

G21F 1/12 (2006.01)

G21F 5/12 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

20.05.2022

43 Fecha de publicación de la solicitud:

28.12.2023

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

18.05.2023

Fecha de concesión:

18.06.2024

45 Fecha de publicación de la concesión:

25.06.2024

73 Titular/es:

UNIVERSIDAD DE CÁDIZ (100.0%)

Paseo Carlos III, nº 9

11003 Cádiz (Cádiz) ES

72 Inventor/es:

SUFFO PINO, Miguel y

SÁNCHEZ CANDÓN, Claudio Andrés

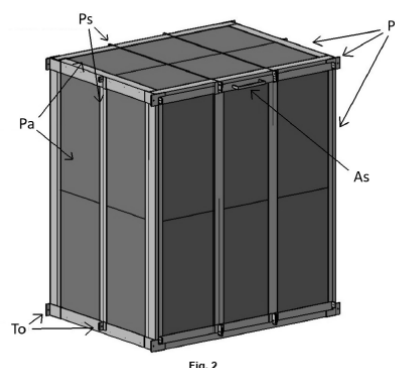
54 Título: **RECINTO BLINDADO, PORTÁTIL, MODULAR, PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN DEL RECINTO Y DE FABRICACIÓN DE LOS PANELES BLINDADOS EMPLEADOS PARA SU CONSTRUCCIÓN Y USOS**

57 Resumen:

Recinto blindado, portátil, modular, procedimientos de construcción del recinto y de fabricación de los paneles blindados empleados para su construcción y usos.

El recinto se compone de una estructura portante compuesta por una serie de perfiles que sirven de guía para el montaje de unos paneles modulares que constituyen las paredes del recinto, los cuales están formados por la unión de una serie de paneles individuales blindados, contruidos de material compuesto de fuente reciclada, formando una estructura en sándwich (A+B+A).

Son objeto de esta invención la composición de los paneles blindados anteriormente mencionados, su procedimiento de fabricación, la estructura del recinto y su procedimiento de construcción, así como los usos particulares tanto del recinto, como de los paneles blindados.



ES 2 956 832 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

DESCRIPCIÓN

5 RECINTO BLINDADO, PORTÁTIL, MODULAR, PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN DEL RECINTO Y DE FABRICACIÓN DE LOS PANELES BLINDADOS EMPLEADOS PARA SU CONSTRUCCIÓN Y USOS

SECTOR DE LA TÉCNICA

10 El área científica es “Tecnologías del medio ambiente”
El área tecnológica es “II. Instrumentos: CT09- Ingeniería nuclear”.
La rama de actividad industrial es “DJ-Metalurgia, Fabricación de productos metálicos”,
División CNAE “28- Fabricación de Productos, Metálicos, excepto Maquinaria y
Equipo”.

15 Códigos de la Clasificación Internacional de Patentes (CIP)
G21F7/00, G21F5/04, G21F1/12, G21F5/12

Códigos de la Clasificación Cooperativa de Patentes (CPC)
20 G21F7/00, G21F5/04, G21F1/12, G21F5/12

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

25 Según indicación del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), en todas las aplicaciones de la radiación ionizante, la dosis de exposición de los usuarios y de otras personas que se encuentren en las proximidades además del medio ambiente colindante, debe implementar el concepto ALARA (As Low As Reasonably Achievable), es decir, reducida a niveles tan bajos como sea razonablemente posible y, en todo caso, no sobrepasar el umbral acordado a nivel internacional conforme dicta el Organismo
30 Internacional de Energía Atómica (OIEA) por medio de sus normas para la protección radiológica ocupacional (Nº RS-G-1.1, 1.2 y, 1.3, del año 2004). Tal y como se ha reseñado, el organismo regulador encargado de la protección contra radiaciones ionizantes en España es el CSN, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) a nivel europeo y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) a nivel
35 internacional. En España, las regulaciones para todo lo relativo a las radiaciones ionizantes y la protección radiológica se recogen en el Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra

radiaciones ionizantes (BOE num.178, de 26 de julio de 2001). Según el artículo 9, la dosis máxima para un trabajador expuesto será de 100 mSv durante un periodo de 5 años consecutivos, con un límite por año de 50 mSv. Así mismo, en el artículo 13 se establece el límite anual de 1 mSv para el público en general. Según esta disposición legal, los trabajadores que utilicen radiaciones ionizantes deben tomar una serie de medidas con la intención de prevenir la exposición a la radiación y de vigilar la dosis recibida.

Una medida preventiva ante este riesgo radiológico es la clasificación de las zonas de peligro en el emplazamiento de la inspección. Según el artículo 17 del citado Real Decreto, las zonas se clasifican en:

- Zona vigilada: zona en la que existe la posibilidad de recibir una dosis efectiva superior a 1 mSv / año e inferior a 6 mSv / año.

- Zona controlada: zona en la que existe la posibilidad de recibir una dosis efectiva superior a 6 mSv / año. Dentro de esta categoría, se encuentran las tres subzonas siguientes:

- Zona de permanencia limitada: zona en la que existe el riesgo de recibir una dosis superior a los límites anuales establecidos.

- Zona de permanencia reglamentada: zona en la que se pueden recibir dosis superiores a los límites reglamentarios en periodos cortos de tiempo.

- Zona de acceso prohibido: zona en la que se pueden recibir dosis superiores a los límites reglamentarios en una única exposición.

El acceso a cada zona está permitido únicamente a los trabajadores autorizados y se deben delimitar aquellas zonas en las que exista la posibilidad de recibir una dosis superior a 1 mSv al año.

Uno de los métodos para alcanzar este objetivo es actuar sobre los materiales de blindaje que conforman el recinto donde se va a desarrollar los ensayos mediante la fuente radioactiva. Otros métodos también relacionados con este fin son el diseño estructural y espesores de pared adecuados para el recinto blindado.

En España, a través del manual práctico de seguridad radiológica publicado en abril de 1996 (IAEA-PRSM-2) y, en particular, dentro del manual sobre recintos blindados, se recoge la definición de estas construcciones como “todo espacio cerrado construido para contener la radiación ionizante y proporcionar suficiente blindaje a las personas en las zonas contiguas”. La definición es indiferente del tamaño y diseño del recinto,

lo que varía es el tipo de fuente radioactiva que va a actuar en su interior: rayos X, gamma o neutrones, entre otras. Este aspecto implicará un diseño basado en unos materiales y espesores adecuados para garantizar que no se sobrepase el umbral que define la zona de alerta radiológica. En dicho documento, por tanto, se realizan una serie de recomendaciones para la selección de los espesores de las barreras primarias y secundarias basadas en dos variables: La fuente radioactiva y el tipo de material de las barreras: hormigón o plomo. Con ello se obtienen una serie de espesores estándares para cada configuración fuente-material. Este tipo de recomendaciones se establecen para barreras macizas y, únicamente, para estos dos tipos de materiales de blindaje, a partir de ellas, permiten la estimación del cálculo de la tasa de dosis de cualquier persona u objeto situado a una cierta distancia del exterior del recinto blindado.

Por ello, para justificar empíricamente el uso de otro tipo de materiales como blindaje (Nazemi et al., 2018), y alcanzar una reducción de la exposición se recurre a tres variables: *distancia*, *blindaje* y *tiempo*. Aunque la distancia es una de las medidas más eficaces y sencillas, a veces no es suficiente para reducir la radiación hasta una cantidad segura para el organismo, o ni si quiera es posible alejarse suficiente de la fuente debido a las características del área de inspección. En cuanto al tiempo de exposición, el tiempo que la fuente está emitiendo radiación va en función del espesor del objeto a inspeccionar, por lo que no se puede variar como convenga. Es entonces cuando se necesita recurrir al blindaje, una protección esencial que permitirá a los operarios permanecer a una distancia considerable de la fuente sin exponerse a dosis perjudiciales y permitirá reducir el área acordonada en algunos casos para permitir la continuación de los trabajos en las cercanías del emplazamiento. El blindaje es posible utilizando una estructura que envuelva el objeto a radiar y la fuente, pero el porcentaje de reducción, tal y como se ha comentado anteriormente, dependerá del tipo de material utilizado para esa estructura y el espesor del mismo. Adicionalmente, será necesario definir la forma en la que se intercambien las fuentes de radiación y como se instalarán los equipos para realizar radiografías o gammagrafías.

En la bibliografía científica, es posible encontrar registros antiguos como los publicados por los autores Roca y Capdevila, en el año 1967, donde se describe un recinto blindado para el análisis espectrográfico de soluciones de radioisótopo. Dicho recinto, supuso uno de los primeros diseños para atenuar la radiación ionizante mediante la estimación del espesor de pared en plomo necesario, tomando como base para dicho

estudio el yodo-131. A partir del espectro radioactivo y la distancia del operador no inferior a 45 cm de la pared exterior del recinto, se determinó la necesidad de usar planchas de plomo macizo de 10 mm de espesor que proporcionaba un margen de seguridad adecuado. Las dimensiones de dicho contenedor fueron de
5 1254x800x1000mm.

Más recientemente, las patentes US4079257A del año 1978 y, la EP0171256A2 del 1985, abordan otro tipo de cámaras fijas para llevar a cabo procesos químicos o fotoquímicos con diferentes propósitos y, usando para ello, contenedores metálicos
10 donde no se indican materiales ni espesores de barrera.

La referencia FR2577684A1 del año 1985, aporta una solución interesante al aportar un contenedor útil para su aplicación como instrumento de medida de la dosis de radiación de rayos gamma con la mediación de un conjunto de sensores.
15

Otro tipo de registros encontrados en la bibliografía, como las patentes EP0513512A2 y EP0513515B1 del 1992 abordan diferentes tipos de portacontenedores para alojar fuentes radioactivas de los que, en la actualidad, son ya fácilmente adquiribles comercialmente, pero adolecen de recintos blindados para llevar a cabo cualquier
20 actividad radiológica sin riesgo para las personas que allí operen.

De manera similar, la referencia WO 94/02869 del año 1994, describe un sistema de calibración de la dosis de radiación recibida en dos recipientes separados, este diseño se usa profusamente en actividades radiodiagnósticas para comparar la dosis recibida
25 en diferentes órganos humanos.

Sin embargo, una referencia temporalmente más cercana es el modelo de utilidad U201130221, el cual aborda el diseño de un depósito móvil para el transporte de material radiológico, de geometría paralelepípedo construido mediante paredes
30 macizas de hormigón baritado y, dispuesto con orejetas en su parte superior o, huecos en su parte inferior, para su izado. En este último registro no se aportan espesores de barrera, ni peso del depósito completo y, al ser de obra civil, difícilmente podrá usarse como instrumento de trabajo itinerante, de fácil montaje y desmontaje.

La patente US2018240559A1, hace uso de material polimérico reciclado para la fabricación de capas en paneles blindados, aunque no se especifique de dónde
35

procede dicho material de reciclaje ni tampoco especifica si puede servir para diferentes tipos de fuentes radioactivas.

Por último, en la patente US2013047521A1, se describe un equipo portátil autónomo para la actividad radiológica. El aparato incluye un recipiente exterior adaptado para ser portátil y autoportante. El interior del contenedor dispone de barreras de diferentes espesores para atenuar la dosis de radiación y permitir la ocupación de varias personas sin riesgo. Las paredes se diseñan con materiales metálicos y poliméricos, así mismo, el propio contenedor incluye un sistema de remolque con ruedas. Dadas las dimensiones y, por ende, el peso de este anterior depósito referenciado, se estima que el coste del transporte de este puede comprometer seriamente el aspecto económico de su uso.

La más reciente referencia es la patente ES2545276A1, en la cual se describe un diseño de recinto blindado, portátil, para la actividad de gammagrafía industrial y, la construcción modular del mismo. Dicha referencia, aunque novedosa requiere de paneles modulares que incluyen en su interior, diferentes materiales cuyas propiedades hacen atenuar la onda radioactiva por el cambio de medio físico en el que se transmite. La construcción de ese tipo de paneles resulta compleja y requiere de espesores de plomo cuya disponibilidad es escasa, su peso es alto y, sobre todo, su uso es altamente peligroso (Jamal et al., 2019) (Burns et al., 2017). Tampoco se especifica el proceso de fabricación de esos paneles blindados, ni se tienen en cuenta el coste de los materiales usados para fabricarlos ni se aplican criterios de ecodiseño, economía circular y reducción de huella de carbono resultante de hacer uso de materiales reciclados. El diseño está concebido sólo para aplicaciones con fuentes radioactivas de origen artificial, cuyo espectro energético equivalen a ^{192}Ir y ^{75}Se , pero no para Rayos X. No se ha provisto de la posibilidad de intercambiar dichas fuentes radioactivas. Tampoco se han encontrado otros usos alternativos del recinto aprovechando otro tipo de prestaciones como la modularidad y escalabilidad.

En resumen, la referencia ES2545276A1, describe la presencia de una estructura de contención, compuesta por perfiles metálicos normalizados huecos que sirven de estructura y de guía para el montaje de los paneles que componen las paredes del recinto. Sin embargo, en ningún documento se especifica el montaje de ningún accesorio para la sujeción del telemando si se usan rayos gamma, ni por supuesto, del tubo de rayos X, ya que no contempla esta fuente radiográfica. Por tanto, no se

describen estos aspectos en el procedimiento de construcción del recinto blindado.

Así mismo, dicho documento contempla paneles modulares blindados contruidos a partir de planchas tipo sándwich, al igual que en WO2020036777A1. En ambos
5 documentos se describen dos capas exteriores fabricadas de material polimérico, aunque no de origen reciclado. La capa central está compuesta por láminas de material atenuante de las radiaciones como puede ser plomo. No obstante, no se especifica el origen del plomo que se usan para bloquear ni cómo se fabrican los paneles. La patente US2018240559A1, hace uso de material polimérico reciclado para la
10 fabricación de capas en paneles blindados, aunque no se especifique de dónde procede dicho material de reciclaje. La opción de reutilizar la fracción polimérica de los cables eléctricos es conocida, como se observa en el documento <https://reciclario.com.ar/reciclable/cables/>, sin embargo, no se especifica en detalle qué procesado debe hacerse con dicha fracción para orientarlo a un determinado
15 producto final. Ni en la citada web, ni en el citado documento WO2020036777A1, se divulgan metodologías, granulometrías, mezclas de materiales reciclados, ni inserción de láminas de plomo reciclado.

No se encuentra planteada en ningún documento encontrado en la búsqueda, la
20 opción de que el recinto pueda ser utilizado para dos fuentes de radiación mediante la sustitución de paneles blindados intercambiables. Tampoco se encuentra planteada la opción de que la capa central del panel sándwich esté compuesta por láminas de plomo reciclado a partir del material atenuante que se incorporan en las películas radiográficas una vez retirado el papel que incorporan en una de sus caras.

25

EXPLICACIÓN DE LA INVENCION

La utilización de radiaciones ionizantes presenta numerosos beneficios para varios
30 sectores como la medicina, industria e investigación. Los ensayos no destructivos (END), en el entorno industrial son unas de las aplicaciones más notables de las radiaciones ionizantes. Estos tienen un papel muy importante en cuanto al aseguramiento de la calidad de los materiales y aunque hay varios métodos que se utilizan para tal propósito, la radiografía mediante rayos X y rayos gamma es una de
35 las técnicas de END más utilizadas hoy en día para asegurar la integridad física de las estructuras industriales. La inspección por radiografía industrial se realiza para

detectar defectos que no son visibles a simple vista en los materiales utilizados en ingeniería.

Al tratarse de radiaciones ionizantes, a la hora de realizar la prueba se tienen que
5 cumplir una serie medidas de seguridad para evitar los posibles daños en la salud de los trabajadores y las personas cercanas a la zona. La manera de realizar el ensayo depende de la fuente utilizada. Para realizar radiografías en los metales se utiliza la radiación producida por los rayos X y rayos gamma, las cuales funcionan de una manera muy similar, aunque los equipos utilizados para producir estas radiaciones son
10 diferentes.

Para utilizar los rayos X, la fuente es un equipo conectado a la corriente eléctrica, por lo que solo emite radiación cuando está en condiciones de funcionamiento. Normalmente, este equipo se utiliza en estructuras diseñadas para tal fin, tales como
15 búnkeres de hormigón armado y plomo. Esta necesidad viene del hecho de que la radiación producida por rayos X es fuertemente penetrante en el cuerpo humano, por lo que en pocas ocasiones es posible utilizar una fuente de rayos X en el emplazamiento donde se realice la inspección si no dispone de un búnker destinado a ello.

20 Para la utilización de una fuente de rayos gamma, se usa el equipo dispuesto con una manguera, por donde sale la fuente hasta el punto de radiografiado conducida mediante un telemando, el cual, es accionado por el operario desde una distancia lo suficientemente alejada para realizar la tarea con seguridad. En el extremo de la
25 manguera donde permanece la fuente se suele añadir un colimador para enfocar el haz de radiación en una dirección. Con este tipo de fuente hay que tener especial cuidado ya que, al contrario que para los rayos X, la fuente de rayos gamma permanece continuamente emitiendo radiación, ya que se trata de un isótopo radiactivo cuya vida útil se va agotando con el paso del tiempo.

30 La radiación ionizante sufre una cierta disminución del flujo de sus fotones al pasar a través de los materiales, es decir, la radiación no se propaga en línea recta hasta el infinito, sino que va desapareciendo a medida que pasa por diferentes materiales. Esto se conoce como atenuación, y depende de la naturaleza de la radiación, su energía y
35 la naturaleza del material que atraviese (CSN, 2013).

Esta atenuación sigue una ley de tipo exponencial, conocida como ley de Beer-Lambert o Ley de atenuación exponencial, expresada mediante la ecuación (1).

$$I_x = I_o e^{-\mu x} \text{ (cm}^{-1}\text{)} \quad (1)$$

5 Siendo:

I_x = Intensidad después de la atenuación.

I_o = Intensidad antes de la atenuación.

μ = Coeficiente de atenuación lineal.

x = Espesor del material absorbente.

10

El coeficiente de atenuación lineal “ μ ”, es propio de cada material, aumenta con su número atómico y disminuye con la energía de la radiación incidente. Se mide en m^{-1} y, cuanto mayor sea mejor cualidad atenuante de la radiación tendrá el material.

15 El coeficiente de atenuación también puede expresarse en forma másica, dividiendo el coeficiente de atenuación lineal por la densidad del material atravesado por la radiación. Se expresa según la ecuación (2).

$$\mu_m = \mu \rho^{-1} \text{ (cm}^2 \text{ g}^{-1}\text{)} \quad (2)$$

20

Para comprender como se comportan los materiales en cuanto a su capacidad para atenuar la dosis de radiación, dependiendo de la fuente radiactiva, se recurre al espesor de semirreducción, una magnitud más sencilla de manejar que el citado coeficiente de atenuación y que se obtiene al aplicar un factor de reducción de dos con respecto a la intensidad de radiación inicial (I_o) en la ecuación (1). Según la norma
25 UNE EN ISO 80000-10:2021, el espesor de semirreducción ($d_{1/2}$) o capa hemirreductora (CHR) es aquel que reduce la magnitud de interés de un haz unidireccional a la mitad de su valor inicial. Se mide en metros y depende tanto de la naturaleza de la fuente radiactiva como del material utilizado como atenuante. Se
30 calcula como aparece en la ecuación (3).

$$d_{1/2} = \ln(2) \cdot \mu^{-1} \quad (3)$$

También puede calcularse el espesor décimorreductor ($d_{1/10}$) o capa décimorreductora
35 (CDR) de la manera mostrada en la ecuación (4).

$$d_{1/2} = \ln(10) \cdot \mu^{-1} \quad (4)$$

Para permitir su aplicación, el recinto blindado debe ser desmontable, portátil y capaz de reducir considerablemente la radiación procedente de la fuente radiactiva. Para ello, su diseño debe realizarse teniendo en cuenta los siguientes requisitos:

Materiales: Para aislar a los operarios de la radiación es necesario que esté fabricado de un material que sea capaz de absorber una gran cantidad de la radiación desprendida por la fuente radiactiva. Los materiales con más capacidad de absorción suelen ser aquellos con mayor densidad, pero esto a la vez conlleva un peso muy elevado, lo que está en contraposición con la característica portátil del diseño. Además de ser denso debe ser accesible y, con lo que esto conlleva, económico. Los materiales más utilizados en la protección contra la radiación suelen ser el hormigón y el plomo, debido a su densidad y accesibilidad, aunque, por otro lado, también es posible encontrar otros materiales como el agua o el boro para contener grandes cantidades de radiación ionizante en centrales nucleares.

Economía circular y sostenibilidad: Uno de los aspectos importantes en los que se centra la presente propuesta es la protección del medio ambiente mediante la utilización de materiales reciclados para la elaboración de la mayor parte del diseño. Teniendo en cuenta el problema de la contaminación que se genera diariamente a nivel mundial, se ha tomado la decisión de reducir el consumo de materiales de nueva fabricación para no agravar el problema e incluso buscar una manera de aprovechar ciertos residuos ayudando así a reducir la contaminación generada por estos, reduciendo la huella de carbono. Por otra parte, se quiere conseguir un presupuesto final que no sea muy elevado, lo cual es posible utilizando materiales reciclados.

Montaje: Debido a la cualidad portátil del recinto, se debe tener en cuenta que el montaje del recinto puedan realizarlo, de manera rápida y fácil, un par de operadores como máximo. Además, se debe tener en cuenta que, según el Real Decreto 487 /1997 de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación de cargas que entrañe riesgos, en particular dorso lumbares, para los trabajadores. Según el Real Decreto 487 /1997 de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación de cargas que entrañe riesgos, en particular dorso lumbares, para los trabajadores, la carga máxima para condiciones ideales de levantamiento es de 25 kg, por lo que no se debe superar esta

- cifra para ningún objeto que deba ser levantado por una única persona. Para ensamblar el recinto, se tomarán perfiles de un material metálico que permitan la unión de todas las placas consiguiendo que la estructura quede lo más firme y estanca posible para impedir la fuga de radiación. Para asegurar que el montaje no se realice de manera errónea se diseñarán estos perfiles de tal manera que solo puedan encajar en el sitio diseñado para ellos, además estarán numerados y la estructura completa irá acompañada de un manual de instrucciones para garantizar la resolución de toda duda posible que pueda surgir en el momento del montaje.
- 10 Adaptabilidad: El diseño final no debe tener un único método de montaje, se deberá diseñar la estructura de tal manera que permita la incorporación o la sustitución de distintos tipos de paneles modulares, contruidos a partir de dos o más paneles blindados tipo sándwich (A+B+A), para permitir que pueda utilizarse tanto para el equipo de rayos X como para el de gammagrafía.
- 15 Portabilidad: Una vez queda montado el recinto blindado (ver figura 1), debe tener la capacidad de desplazarse por las instalaciones, si fuera necesario, sin necesidad de tener que desmontarlo completamente.
- 20 Teniendo en cuenta las anteriores premisas, un primer aspecto de la invención es el diseño de unos paneles blindados, contruidos de material compuesto de fuentes recicladas, formando una estructura en sándwich para su uso en la fabricación de los paneles modulares empleados en un recinto blindado para la actividad de radiografía industrial y biomédica.
- 25 Los paneles objeto de la invención están contruidos por tres capas a modo de sándwich (A+B+A), donde las dos capas exteriores (A), están fabricadas a partir de la fracción polimérica obtenida del reciclaje de cables eléctricos y, la capa central (B), está contruida por láminas del material atenuante que se incorporan en las películas radiográficas, para protegerlas de la radiación dispersa, una vez retirada del papel de color blanco que está unida a ella en una de sus caras.
- 30 La función del material polimérico es la de aportar consistencia a la estructura aportando muy poco peso y un cambio del medio físico en el que se transmita la radiación. El material atenuante que protegen a las películas radiográficas, está compuesto principalmente de una aleación de plomo y, su función, es la de actuar

como material absorbente de la radiación, o material fuertemente atenuador.

El material atenuante que actúa de protección de las películas radiográficas, está compuesto por una base de papel en una cara y, una aleación en mayor proporción de plomo y otros materiales metálicos cuya fracción en masa (w) y densidad (ρ) puede apreciarse en la tabla 3, cuyos datos han sido determinados empíricamente mediante un ensayo de fluorescencia de rayos X.

Tabla 3: Composición de la aleación de plomo

| Componentes | w(%) | ρ (g / cm ³) |
|-------------|-------|-------------------------------|
| Zr | 0,12 | 6,73 |
| Al | 0,07 | 2,7 |
| Cd | 0,76 | 8,65 |
| Sn | 1,13 | 7,3 |
| Pb | 60,04 | 11,34 |
| No metales* | 37,88 | 1 |
| Total | 100 | |

* La parte correspondiente a los materiales no metálicos está compuesta mayoritariamente por papel. La lámina compuesta de papel y plomo tiene un espesor de 100 μ m, aunque la fracción atenuante sólo mide 27 μ m de grosor. La densidad de este componente se estima como 1.

Por otra parte, cada una de las empresas registradas en la provincia de Cádiz para realizar radiografiado industrial puede consumir unas 1680 láminas de material atenuante al mes, lo cual da idea de la cantidad de material de desecho generado, que puede servir para la fabricación de estos paneles.

Adicionalmente, la fracción polimérica de cables desechados procede de las cubiertas protectoras de dichos cables usados en instalaciones eléctricas. Según (Díaz et al., 2018), ese material tiene una composición aproximada de diferentes polímeros como polietileno de baja densidad (LDPE), copolímeros de polietileno, polietileno reticulado (XLPE), aunque también puede contener pequeños porcentajes de otros materiales poliméricos como HFFR, contiene gomas e incluso trazas de cobre procedentes de restos de cables. Además, por medio de un reciclado mecánico, el material se tritura y tamiza hasta conseguir una granulometría promedio de 4mm. Según (Lindahl & Winsnes, 2005), los elementos más comunes son PVC (68%) y LDPE/XLPE (28%).

En la tabla 4 se aporta estimación de la composición de este material, la fracción en masa de los componentes y sus densidades sin incluir aglutinante.

Tabla 4: Composición del material que procede la fracción polimérica de cables desechados, sin incluir aglutinante.

| Componentes | w(%) | ρ (g / cm ³) |
|-----------------|------|-------------------------------|
| PVC | 68 | 1,38 |
| LDPE/XLPE | 28 | 0,92 |
| Elastómeros | 3% | 0,94 |
| Metales (Cobre) | 1% | 8,96 |
| Total | 100 | |

Un segundo aspecto de la invención es el procedimiento de fabricación de los paneles blindados definidos anteriormente, el cual, partiendo del material granulado, se aplica un proceso de moldeo por compresión a una temperatura máxima de 80°C hasta obtener un panel blindado compuesto por tres capas (material polimérico de cables desechados, A + material atenuante de películas radiográficas desechadas, B + material polimérico de cables desechados A). Las etapas que comprende el procedimiento son:

a) Triturar y tamizar el material polimérico de cables desechados hasta conseguir una granulometría promedio de 4mm gránulos.

b) Mezclar al 50% el material polimérico de cables desechados con una resina de poliuretano (PU).

c) Colocar una primera capa de la mezcla: material polimérico de cables desechados + PU vertiéndola en un molde hasta alcanzar una altura de entre 3,5 y 4 mm en toda la extensión del molde.

d) Insertar las láminas de aleación de plomo en toda la extensión del molde hasta alcanzar una altura de 2-2,5mm aproximadamente.

e) Colocar la tercera capa de la mezcla: material polimérico de cables desechados + PU, hasta alcanzar una altura de entre 3 y 3,5mm aproximadamente.

f) Cerrar el molde y proceder al proceso de prensado por compresión con ayuda de una fuente térmica que favorezca la polimerización de materiales y aglutinantes hasta un punto en el que se queda unido por compresión, al tiempo que se produce la eliminación del sobrante de PU.

Este procedimiento de fabricación permite compactar materiales poliméricos tipo termoplásticos, termoestables así como elastómeros e incluso metálicos, sin alcanzar la temperatura de fusión en ninguno de ellos. Así mismo, en la tabla 5 se recogen los componentes del material polimérico de cables desechados una vez se mezcla con la resina de PU en las proporciones indicadas.

Tabla 5: Composición del material polimérico de cables desechados mezclado al 50% con PU.

| Componentes | w(%) | ρ (g / cm ³) |
|--------------------|------|-------------------------------|
| PVC | 34 | 1,38 |
| LDPE/XLPE | 14 | 0,92 |
| Elastómeros | 1,5 | 0,94 |
| Metales (Cobre) | 0,5 | 8,96 |
| Resina de PU | 50 | 1,56* |
| Total | 100 | |

* Estimación de la densidad de la mezcla de los dos componentes X:Y, en una relación 5:1.

La geometría final de la mezcla se recoge en la tabla 6. Así mismo, la composición final de un panel compuesto se recoge en la tabla 7.

Tabla 6: Geometría preferente de un panel pequeño de material compuesto Mixlead.

| Componentes | Ancho (mm) | Largo (mm) | Espesor promedio (mm) | V (cm ³) | m (g) | ρ (g/cm ³) |
|-------------|---------------|---------------|-----------------------------|-------------------------|----------|--------------------------------|
| A | 100 | 200 | 2,11 | 42,2 | 360 | 8,53 |
| B | 100 | 200 | 3,83 | 76,6 | 120 | 1,57 |
| Total* | 100 | 200 | 9,77 | 195,4 | 600 | 3,07 |

A: material polimérico de cables desechados

B: material atenuante a base de aleación de plomo

* los cálculos para el panel de material se han realizado teniendo en cuenta que el material está compuesto por dos capas de material A y una de B.

Tabla 7: Composición elemental preferente de un panel de material compuesto.

| Elemento | w(%) | ρ (g / cm ³) |
|--------------|-------|-------------------------------|
| Circonio | 0,07 | 6,5 |
| Aluminio | 0,04 | 2,7 |
| Cadmio | 0,45 | 8,65 |
| Estaño | 0,68 | 7,37 |
| Cobre | 0,2 | 8,96 |
| Plomo | 36,03 | 11,34 |
| No metales | 22,73 | 1,00 |
| PVC | 13,6 | 1,38 |
| LDPE/XLPE | 5,6 | 0,92 |
| Elastómeros | 0,6 | 0,94 |
| Resina de PU | 20 | 1,56 |
| Total | 100 | |

Un tercer aspecto de la invención es el recinto para llevar a cabo ensayos no destructivos para radiografía industrial y médica que incorpora los paneles blindados anteriormente descritos, que se integran a su estructura, y en cuyo interior se dispone la fuente radioactiva y los elementos a radiar (tuberías, accesorios, vigas, etc.).

El recinto se compone básicamente de dos partes: Estructura portante y paredes compuestas por módulos de paneles blindados.

- a) La estructura portante está compuesta por 26 perfiles huecos de aleación de aluminio; 12 estructurales y 14 de refuerzo en forma de H o T, los cuales, sirven de guía para el montaje de los módulos que componen las paredes del recinto.
- b) 34 paneles modulares que componen las paredes del recinto, dos de ellos intercambiables para adaptar el recinto a la fuente de radiación a emplear, construidos cada uno de ellos por la unión de dos o más paneles individuales en forma de sándwich de material compuesto A+B+A, donde las dos capas exteriores (A) están fabricadas a partir de la fracción polimérica obtenida del reciclaje de cables eléctricos y la capa central (B) está compuesta por láminas del material atenuante que se incorporan en las películas radiográficas, para protegerlas de la radiación dispersa, una vez retirada del papel de color blanco que está unida a ella en una de sus caras

Cada uno de los paneles modulares está compuesto de tantos paneles blindados como requiera el espesor de atenuación del riesgo radiológico hasta límites permitidos,

consiguiendo zonas de exposición de baja radiación. La unión de los paneles blindados entre sí se realiza mediante un adhesivo para polímeros.

5 El montaje de los paneles modulares se realiza sobre la estructura portante compuesta por los perfiles metálicos. El bajo peso del conjunto y, su rápido montaje y desmontaje dota al operario de más productividad ya que no se restringe únicamente al uso de su propio recinto interior ubicado en sus instalaciones.

10 Todos los perfiles cuentan con unas pletinas para facilitar el montaje mediante pernos normalizados y una geometría tal que los perfiles que componen las esquinas queden perfectamente unidos con un solo perno, haciendo más corto el tiempo de montaje.

15 Para evitar que la radiación puede escapar por cualquier orificio o junta, los perfiles de aluminio cuentan con hendiduras tanto en la parte vertical como en la horizontal para introducir los paneles de manera que queden fijados de manera correcta (ver figura 2b y 2c).

20 Las diferentes unidades de paneles blindados, que unidos forman los paneles modulares que conforman las paredes laterales del recinto, se realiza situándolos unos levemente desplazados de los otros para formar una estructura machihembrada (ver figura 2a), de modo que, en la dirección vertical pueden unirse varios paneles sin aberturas estructurales donde existan fugas radioactivas.

25 Para montar la parte superior e inferior del recinto se colocan unos perfiles centrales en forma de T donde irán posados los paneles modulares horizontales directamente, los cuales irán unidos entre ellos mediante un corte en forma de solape en los paneles blindados (ver figura 3).

30 Para acceder al interior del recinto, así como, para introducir, posicionar y retirar los elementos a inspeccionar y las fuentes radioactivas, se ha optado por articular una de las paredes del recinto a modo de puerta abatible. De esta manera, tirando de una maneta o asa situada en el perfil superior de una de las paredes del recinto se abate al completo, quedando accesible todo el interior del recinto (ver figura 4a). Para que la puerta pueda abatir se han diseñado las uniones atornilladas inferiores de los perfiles
35 inferiores para que actúen de bisagra o charnela, quedando como aparece en la figura 4b.

Teniendo en cuenta que el diseño propuesto prevé su utilización tanto con un equipo de rayos X como con un equipo gammagráfico, se debe adaptar el diseño para que pueda ser utilizado bajo las mismas condiciones de seguridad para ambas fuentes.

5 Para ello, se ha dispuesto de paneles verticales intercambiables, los cuales, sirvan para adecuar el recinto al tipo de radiación que se necesite. Para la utilización del recinto con el equipo de rayos X, se usará el panel vertical intercambiable marcado como L10 en la figura 5b, en sustitución del vertical convencional marcado como L2. Dicho panel L10, dispone de un agujero de diámetro igual al del tubo, con lo cual se
10 puede introducir el tubo en el recinto de manera que este siga estando cerrado por todos lados, sus dimensiones se han descrito en la figura 6. Para sujetar el tubo en el interior no basta con apoyarlo en la plancha vertical a la que se le ha realizado el agujero, sino que hay que atornillar una abrazadera metálica (A1) entre los dos perfiles centrales del techo del recinto, de manera que el tubo quede fijado por dos puntos de
15 apoyo, garantizando la correcta instalación de este. Para tapar los huecos que quedan en la unión del orificio de la plancha y el perímetro del tubo de rayos X, se utiliza un aplique circular (A2) fabricado en material blindado como se ha descrito anteriormente, garantizando también la sujeción de éste. Dichos accesorios se han denominado apliques A1 y A2 (figura 7a) y sus formas se detallan en las figuras 8a y 8b
20 respectivamente.

Para la utilización del recinto con el equipo de rayos gamma, cabría la posibilidad de introducir el equipo completo dentro del recinto, lo cual sería mucho más seguro que introducir solo la manguera de este. No obstante, para posicionar la fuente del equipo
25 hasta el punto final de la manguera, donde se emite la radiación, se debe empujar la fuente con ayuda del telemando, que va enchufado en el otro extremo del contenedor gammagráfico, esto supone que habrá que manipular desde fuera a una distancia prudente, por este motivo se usa otro panel vertical intercambiable marcado como L11 en la figura 5b, en sustitución del vertical convencional marcado como L1. Dicho panel
30 L11 dispone de un agujero de diámetro igual a la envolvente de las dos mangueras del telemando y sus dimensiones se han descrito en la figura 8b. Para tapar los huecos que quedan en la unión del orificio de la plancha y el perímetro de las mangueras del telemando, se utiliza otro accesorio circular fabricado en material blindado como se ha descrito anteriormente, garantizando también la sujeción de éste. Dicho accesorio se
35 ha denominado Aplique A3 (figura 7d) y su forma se detalla esquemáticamente en la figura 8c.

De esta manera, se garantiza el montaje adaptativo a una configuración u otra dependiendo de la fuente elegida para el ensayo.

- 5 Su especial configuración en paneles modulares de bajo peso dota al diseño de una adecuada disposición para su fácil transporte y su uso allí donde sea necesario. Este aspecto de portabilidad incide sobre la productividad de la empresa encargada de realizar los ensayos, en virtud de la adecuación del contenedor a las instalaciones del usuario, tanto en el interior como a la intemperie.

10

El diseño está concebido para aplicaciones con fuentes radioactivas de origen artificial, cuyo espectro energético esté comprendido alrededor de los 1,4 MeV, como son el Ir¹⁹² y el Se⁷⁵, cuyas fuentes están confinadas o agregadas dentro de cápsulas o cajas protectoras y, mediante una guía interna las empuja y desplaza hasta hacerlas salir al exterior. Dichas fuentes radioactivas están consideradas como Categoría 2 por la Guía de Seguridad N°. RS-G-1.9 del IAEA del año 2009, es decir, consideradas muy peligrosas para las personas y el medio ambiente. En base a ellos se ha estimado el espesor que deben tener los paneles, considerando parámetros como la distancia de la fuente a la probeta, la orientación de la fuente con respecto a ella y, al coeficiente de atenuación másico de cada material usado en los paneles.

20

Un cuarto aspecto de la invención es el procedimiento de construcción del recinto. Su especial configuración, basada en el uso de paneles de bajo peso dota al diseño de una adecuada disposición para su fácil transporte y su uso allí donde sea necesario. Este aspecto de portabilidad incide sobre la productividad de la empresa encargada de realizar los ensayos, en virtud de la adecuación del contenedor a las instalaciones del usuario, tanto en el interior como a la intemperie.

25

En primer lugar, es necesario decidir el lugar dónde se instalará el recinto y si tendrá que desplazarse por determinados recorridos montado en una plataforma con ruedas. En cualquier caso, el primer paso es el montaje de los cuatro perfiles de la parte inferior y los cuatro perfiles verticales, de esta forma ya se disponen de las cuatro esquinas inferiores. El orden correcto que debe seguirse es el siguiente:

30

- a) Montaje de uno de los vértices inferiores del recinto, compuesto por dos perfiles laterales horizontales con un perfil vertical formando una primera esquina.
- b) Montaje del resto de esquinas inferiores del recinto.

35

- c) Montaje de los dos perfiles centrales de la base del recinto.
- d) Montaje de los paneles horizontales inferiores que conforman el suelo del recinto.
- e) Montaje de los perfiles centrales laterales y traseros, uno a cada lado y dos en la parte posterior.
- 5 f) Montaje de paneles laterales y traseros, situándolos encima de los raíles que quedan entre las uniones de los perfiles.
- g) Montaje del perfil inferior para puerta abatible.
- h) Montaje de perfiles verticales para puerta abatible.
- i) Montaje de paneles verticales de la puerta abatible.
- 10 j) Montaje de perfiles horizontales superiores.
- k) Montaje de perfil superior de puerta abatible.
- l) Montaje de perfiles centrarle superiores.
- m) Montaje de abrazadera de sujeción del tubo de Rx.
- n) Montaje de accesorio para telemando si se usan Rayos gamma.
- 15 o) Montaje de paneles horizontales superiores, situándolos en los raíles de los perfiles superiores, quedando el recinto montado por completo (figura 1).

Un quinto aspecto de la invención son los usos particulares que pueden hacerse del recinto objeto de la invención. Históricamente han existido numerosos tipos de recintos blindados para aplicaciones de radiodiagnósticos médicos, muchos de ellos destacados en los antecedentes. Así mismo, aunque menos profuso, esos recintos han sido usado para fines industriales de ensayos no destructivos fijos. El problema que plantea este tipo de instalaciones fijas es que limita la capacidad productiva de la empresa que los explota ya que se ciñe a los ensayos que le permiten llevar a cabo en su propio recinto.

Mediante el recinto objeto de la invención, es posible complementar dichos trabajos de ensayo con los que se pueden ejecutar en las instalaciones del propio usuario. Pero adicionalmente, dada la facilidad de montaje y su portabilidad, es posible su uso en cualquier lugar y, así como el uso, igualmente eficaz para determinadas aplicaciones, de los paneles que lo conforman a la intemperie a modo de pantalla. Este aspecto añade productividad a la empresa que ensaya ya que le permite realizar los trabajos en paralelo atendiendo diferentes necesidades en lugares distintos.

A continuación, se citan dos aplicaciones industriales adicionales de este tipo de recinto blindado, portátil y modular que, aprovecha las buenas propiedades de blindaje

que aporta el material compuesto de polímero y aleación de plomo del que está formado sus paneles, así como una aplicación adicional de barrera basada en el empleo de los paneles blindados que igualmente son objeto de la invención.

5 A) Recinto para transporte del equipo radiactivo

Una de las opciones es utilizar el material blindado (A+B+A), a modo de cajón blindado para el transporte del equipo gammagráfico en vehículos para su desplazamiento de la delegación propietaria del equipo hasta el emplazamiento de la inspección.

10 b) Recinto para almacenamiento en obra del equipo radiactivo

Otra aplicación similar a la anterior es el uso de un cajón fabricado con el material blindado (A+B+A), para almacenamiento temporal a pie de obra del equipo gammagráfico.

15 c) Barrera para refugio en campo en inspecciones radiográficas llevadas cabo en campo abierto, como las que se realizan en plantas termosolares, empleando para ello una pantalla vertical compuesta por varias capas de los paneles tipo sandwich objeto de la invención, de un tamaño suficiente para cubrir al operador.

20 Un sexto aspecto de la invención sería la metodología de cálculo numérico para determinar el número de paneles de cada pared y sus espesores, tal y como se citó anteriormente. Como ya se ha reseñado anteriormente, existen tres factores básicos para reducir la dosis de radiación a la que están expuestos los operadores y el público en general en el emplazamiento de la inspección radiográfica. Estos factores son el
25 tiempo, la distancia y el blindaje.

En primer lugar, se determina la distancia entre operador y fuente necesaria para realizar los trabajos cumpliendo con la normativa legal, para comprobar si es necesario utilizar una medida extra de protección como lo es el blindaje. En este caso, se
30 realizarán los cálculos para maximizar la protección por blindaje, aunque también se tendrá en cuenta combinar el factor blindaje con la distancia. De esta manera se conseguirá reducir la distancia a la que tienen que mantenerse las personas presentes en las inmediaciones de la inspección radiográfica, para permanecer dentro del umbral de radiación seguro para la salud.

35

A continuación, se aplica la metodología:

El primer paso es realizar los cálculos de dosimetría para fuentes de rayos gamma y rayos X, para determinar a qué cantidad de radiación están expuestos los operadores de radiología industrial a una distancia fija. Posteriormente, se determina la distancia a la cual se debe situar el operador para garantizar que no se supere la tasa de dosis límite para cada fuente. Si se obtiene un valor de distancia demasiado alto para ser aplicado de manera práctica o poco eficiente en tiempo, se realizan los cálculos para obtener el espesor de panel necesario para cada fuente radioactiva. Como el recinto se desea diseñar de manera que sea posible su utilización para varias fuentes ionizantes, si resultan valores de espesores diferentes dependiendo del tipo de fuente, se deberá escoger un valor de espesor (considerando el espesor y el peso del recinto para que cumpla con su característica transportable), y calcular la nueva distancia de operación para cada fuente si resulta necesario.

De los cálculos numéricos realizados para determinar qué tipo de protección haría falta en cada caso particular de fuente radioactiva, se han llegado a las siguientes conclusiones para cada fuente radioactiva:

¹⁹²Ir: Es totalmente necesario utilizar una protección extra por blindaje además de la distancia, tanto usando colimador como cuando no pueda utilizarse. Será necesario calcular la distancia a mantener con el equipo con la barrera de blindaje dependiendo de la actividad del isótopo radiactivo.

⁷⁵Se: Es recomendable utilizar la protección por blindaje solo cuando haya presencia de personal ajeno en las inmediaciones del emplazamiento de inspección y no se pueda acordonar la zona. También sería necesario su uso cuando se utilice este isótopo sin colimador, aunque esto sucede en muy pocas ocasiones.

Rayos X: Es necesario utilizar la protección por distancia en todo momento, además el blindaje para este tipo de fuente presenta una eficiencia muy alta, reduciendo en gran medida la radiación.

Como solución final se ha determinado empíricamente diseñar un recinto con paredes modulares compuestas por 4 paneles de material blindado cuyo espesor total de adapte tanto para radiación gamma como para Rayos X. Para la radiación gamma de

- un isótopo de ^{192}Ir de unos 30Ci de actividad, situándose a 10 metros de distancia y utilizando dicho recinto de blindaje, para poder cumplir con el límite por hora de 11 $\mu\text{Sv/h}$ se deberían utilizar paredes modulares compuestas por 8 paneles de material blindado. Por el contrario, al utilizar rayos X, con sólo 3 paneles ya se obtiene una tasa de dosis suficientemente pequeña como para no superar los límites, para operador y público en general, a un metro de distancia de la fuente. De esta manera, con los 4 paneles blindados se podría situar el operador junto a la pared del recinto blindado incluso a voltajes mayores.
- Una vez decidida la configuración de montaje del recinto, se compara la tasa de dosis obtenida antes y después de la utilización del recinto y la distancia suplementaria que habría que aplicar en algunos casos. Los resultados obtenidos para este cálculo se recogen en las tablas 1 y 2, y se realiza para las fuentes de rayos X e Ir, ya que para Se, como se ha demostrado, apenas tiene utilidad esta medida adicional de blindaje.
- El coeficiente de atenuación utilizado se ha calculado experimentalmente.

Tabla 1: Tasa de dosis equivalente vs distancia antes y después de aplicar el blindaje compuesto de 4 paneles para fuente de Ir.

| Distancia m | ^{192}Ir Antes | | ^{192}Ir Después | |
|----------------|---|---|---|---|
| | Tasa sin colimador ($\mu\text{Sv/h}$) | Tasa con colimador ($\mu\text{Sv/h}$) | Tasa sin colimador ($\mu\text{Sv/h}$) | Tasa con colimador ($\mu\text{Sv/h}$) |
| 1 | 144300 | 18038 | 45739 | 5717 |
| 2 | 36075 | 4509 | 11434 | 1429 |
| 3 | 16033 | 2004 | 5082 | 635 |
| 4 | 9018 | 1127 | 2858 | 357 |
| 5 | 5772 | 722 | 1830 | 229 |
| 6 | 4008 | 500 | 1270 | 158 |
| 7 | 2945 | 368 | 933 | 117 |
| 8 | 2255 | 282 | 715 | 89 |
| 9 | 1781 | 223 | 565 | 71 |
| 10 | 1443 | 180 | 457 | 57 |
| 20 | 361 | 45 | 114 | 14 |
| 50 | 58 | 7 | 18 | 2 |

- El operador deberá alejarse a una distancia de algo más de 10 metros de la posición del telemando, lo que implica una distancia total con la fuente de más de 20 metros. Aunque es una distancia alta, al disponer del blindaje propuesto, la tasa de dosis se ve reducida de 45 $\mu\text{Sv/h}$ a 14 $\mu\text{Sv/h}$, lo que supone una mejora notable.

Tabla 2: Tasa de dosis equivalente vs distancia antes y después de aplicar el blindaje de 4 paneles para fuente de rayos X

| Distancia (m) | Tasa antes ($\mu\text{Sv/h}$) | Tasa después ($\mu\text{Sv/h}$) |
|---------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 6000 | 45,35 |
| 5 | 240 | 1,81 |
| 10 | 60 | 0,45 |
| 15 | 26,67 | 0,20 |
| 20 | 15 | 0,11 |
| 25 | 9,60 | 0,07 |
| 30 | 6,67 | 0,05 |
| 50 | 2,40 | 0,02 |

- 5 Manteniendo una distancia de hasta 5 metros se asegura la tasa límite para el operador en el peor de los casos posibles. Tal y como se ha recogido en las tablas 1 y 2, incluso aplicando blindaje habría que mantenerse alejado de la fuente radioactiva varios metros en el caso del Ir. Este límite de dosis por hora ha sido calculado teniendo en cuenta que el operador recibe radiación durante la jornada completa. El tiempo
- 10 estimado para una fuente de Ir es de 4 horas y 22 minutos al día y para los rayos X, de algo menos de 2 horas, lo que significa que la exposición real siempre va a ser menor a las 8 horas. Por lo tanto, el operador podrá tomar tasas de dosis un poco superiores durante poco tiempo, mientras cumpla con el límite de dosis diario de 80 $\mu\text{Sv/h}$, aunque siempre es preferible, cuando sea posible permanecer dentro de una
- 15 zona con tasas de dosis menor al límite.

Referencias empleadas

- Burns, K. M., Shoag, J. M., Kahlon, S. S., Parsons, P. J., Bijur, P. E., Taragin, B. H., & Markowitz, M. (2017). Lead Aprons Are a Lead Exposure Hazard. *Journal of the American College of Radiology*, 14(5), 641–647. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2016.10.024>
- CSN. (2013). http://csn.ciemat.es/MDCSN/recursos/ficheros_md/1289767266_157200911511.pdf (Accedido en 07/01/2022). Determinación Experimental de La Variación de La Dosis Absorbida, Debida a Una Fuente Puntual, En Función de La Distancia, Tiempo y Blindaje
- CSN. Determinación Experimental de La Variación de La Dosis Absorbida, Debida a Una Fuente Puntual, En Función, Tie.
- 25 Díaz, S., Ortega, Z., Mccourt, M., Kearns, M. P., & Benítez, A. N. (2018). Recycling of polymeric fraction of cable waste by rotational moulding. *Waste Management*, 76, 199–206. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.03.020>
- 30 Jamal, N., Aida, N., & Amin, B. (2019). *Conventional and new lead-free radiation*

shielding materials for radiation protection in nuclear medicine: A review.
165(May). <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.108439>

Lindahl, M., & Winsnes, M. (2005). Recycling of Cable Plastics - A Life Cycle
Assessment of Several Different Alternatives. *2005 4th International Symposium*
5 *on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, 539–546.
<https://doi.org/10.1109/ECODIM.2005.1619290>

Nazemi, E., Rokrok, B., Movafeghi, A., & Dastjerdi, M. H. C. (2018). Simulation of a
complete X-ray digital radiographic system for industrial applications. *Applied*
Radiation and Isotopes, 139(May), 294–303.
10 <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2018.05.017>

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

15 **Fig. 1.** Aspecto exterior del recinto blindado objeto de la invención ya montado y con
indicaciones de sus partes componentes.

En ella se muestran marcas sobre:

- Pp: perfiles denominados estructurales o principales.
- Ps: perfiles denominados de refuerzo o secundarios.
- 20 - Pa: paneles modulares que conforman las paredes del recinto.
- As: asa para puerta abatible.
- To: ubicación de un par de fijaciones con tornillo.

Fig. 2. Paredes modulares compuestas por paneles blindados montados en sus
25 perfiles guías.

a) Encuentro de dos paneles machihembrados;

b) Situación de paneles en guías metálicas.

En estas imágenes puede distinguirse el modo en el que se encuentran unidos y
desplazados unos sobre otros los diferentes paneles blindados, que conforman cada
30 pared modular, formando el perfil machihembrado.

Fig. 3. Método de montaje de paneles blindados de la parte superior e inferior. Se
muestra detalle de la posición de los cortes en forma de solape de los paneles
blindados que conforman los paneles modulares superiores.

35

Fig. 4. Detalles del montaje de la puerta abatible.

- a) Puerta blindada parcialmente abatida con el asa o maneta en la parte superior;
- b) Detalles de bisagras en la parte inferior.

5 **Fig. 5.** Vista explosionada para la identificación de elementos constructivos.

- a) perfiles de aluminio (P1 a P20) y aplique metálico A1 disponible para uso del recinto con fuente de Rayos X;
- b) paneles modulares, contruidos cada uno de ellos por la unión paneles blindados constituidos por capas en sandwich (A+B+A). En esta figura se distingue también los
- 10 apliques A2 para la instalación correspondiente al uso para Rayos X y el aplique A3 para su uso con fuente de Rayos gamma.

Fig. 6. Vistas ortogonales acotadas de los paneles modulares intercambiables para las distintas fuentes radioactivas.

- 15 a) Panel L10
- b) Panel L11.

Fig. 7. Montaje de elementos de la zona superior.

- a) Apliques del conjunto para Rayos X (A1 y A2);
- 20 b) Montaje de aplique A1 para tubo de Rayos X;
- c) Ubicación de aplique A1 para tubo de Rayos X;
- d) montaje de aplique A3 para Rayos gamma.

Fig. 8. Vistas ortogonales acotadas de los apliques A1, A2 y A3.

- 25 a) Vistas acotadas del aplique A1;
- b) Vistas acotadas del aplique A2;
- c) Vistas acotadas del aplique A3;

Fig. 9. Estructura metálica portante una vez montada.

30

Fig. 10. Perfiles metálicos de la estructura de contención situada en una de las esquinas.

- a) Perfil estructural o principal;
- b) Perfil de refuerzo o secundario usados como refuerzo y guía para el montaje de los
- 35 paneles blindados.

Fig. 11. Montaje de perfiles de la zona inferior.

- a) Primera esquina inferior atornillada;
- b) montaje de las cuatro esquinas;
- c) montaje de los perfiles centrales.

5

Fig. 12. Montaje de paneles de la zona lateral inferior.

- a) paneles de la zona inferior;
- b) montaje de perfiles centrales;
- c) montaje de paneles laterales.

10

Fig. 13. Montaje de paneles de la zona de la puerta abatible.

- a) montaje de paneles verticales de la puerta abatible;
- b) montaje de perfiles horizontales superiores;

15

Fig. 14. Gráfico comparativo de atenuación del blindaje proporcionado por los diferentes escenarios de prueba en los ensayos con rayos gamma.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

20

Ejemplo 1: Procedimiento de fabricación de paneles blindados (A+B+A)

Con base en el procedimiento de fabricación de paneles blindados anteriormente indicado en la descripción de la invención se han tenido en cuenta las siguientes características técnicas para obtener un resultado correcto.

25

- Para llenar el volumen de la cavidad del molde lo importante es tener al menos 100 gr de material polimérico de cables desechados.
- La cantidad de resina de PU y la concentración material polimérico de cables desechados, no tiene por qué ser exacta, ya que la resina se introduce en el interior de los huecos del residuo, escapándose del molde en caso de tener una concentración superior a la necesaria para rellenar los huecos del material polimérico de cables desechados. Ahora bien, para rellenar todos los huecos del material polimérico de cables desechados con la resina, es necesario algo más de una relación material: resina de 1:1 y menos de 1:2.
- Debido a que la densidad de la resina es mayor que la densidad del material polimérico, se incrementó la cantidad de masa total de la mezcla hasta 220 gr para

30

35

conseguir llenar la cavidad del molde y evitar posibles defectos como puede ser falta de llenado.

- Los 220 gr de mezcla se dividieron en 110 gr de material polimérico, 91.7 gr de resina y 18.3 gr de catalizador.

5

Los paneles blindados más grandes fabricados tienen un tamaño de entre 250 y 285mm de ancho y de 470 a 485mm de largo. El peso de cada panel blindado más grande de los fabricados es de 16,8 kg, por lo que cada uno los paneles fabricados objeto de la invención pueden ser transportados por una persona.

10

Ejemplo 2: Estructura de recinto objeto de la invención

El diseño que se propone para el recinto objeto de la invención es el representado en la figura 1 con indicación de sus partes componentes.

15

En base en este diseño, se ha construido un recinto en forma de paralelepípedo de medidas máximas (largo x ancho x alto) de 850x705x998mm, para llevar a cabo ensayos no destructivos para radiografía industrial y médica.

20

El recinto se compone de dos partes bien diferenciadas y configuradas con diferentes materiales y espesores:

- La estructura portante (representada en la figura 9) está compuesta por 26 perfiles huecos de aleación de aluminio EN AW-6063 (L-3441 según norma UNE 38337-1982) con un tratamiento térmico T5, a los que se les identifica por la ubicación que ocupan en cada parte de la estructura (véase identificación en la figura 5a). Adicionalmente cuenta con una abrazadera metálica (A1) unida a los perfiles centrales del techo del recinto para sujetar el tubo que es necesario introducir en el recinto cuando la fuente de radiación empleada es un equipo de rayos X.

25

- Los paneles blindados (A+B+A), cuya identificación se recoge en la figura 5b. Adicionalmente cuenta con dos accesorios circulares, identificados con las referencias A2 y A3.

30

La estructura portante se compone de 26 perfiles, siendo sólo 12 los perfiles principales que dan estabilidad a la estructura (ver figura 10a), mientras que los otros 14 perfiles secundarios (guía) que se montan como refuerzos y, dada su forma en H

35

(ver figura 10b), se usan como guía para el posterior montaje de los 34 paneles que componen las paredes del recinto (dos de ellos intercambiables). Se han utilizado un total de 24 pernos de rosca métrica M5 DIN 933 de 10 mm de longitud y cabeza hexagonal de acero al carbono acompañados de tuercas M5 DIN 934 del mismo material.

El peso total del recinto se ha calculado considerando las densidades de cada elemento y el volumen total del recinto, el resultado ha sido de aproximadamente 448kg.

Ejemplo 3: Montaje detallado del recinto blindado:

El orden correcto que debe seguirse es el siguiente:

a) Montaje de los perfiles de la zona inferior: Montaje de los perfiles P1, P5 y P9. Se deben encajar estos tres perfiles y atornillar con perno M5 DIN 933 y tuerca M5 DIN 934; para dejar fijada la primera esquina del recinto (ver figura 11a).

b) Montaje de las cuatro esquinas inferiores: Una vez se tiene la primera esquina montada, se procede a hacer lo mismo con las otras tres esquinas, utilizando los perfiles P5, P1 y P10 para la esquina delantera derecha, los perfiles P1, P3 y P7 para la esquina izquierda trasera, y los perfiles P1, P3 y P8 para la esquina derecha trasera. Una vez hecho esto se tendrían las cuatro esquinas unidas como puede verse en la figura 11b.

c) Montaje de los perfiles centrales inferiores: una vez fijada la base inferior, tal y como se observa en la figura 11c, se fijan los perfiles centrales inferiores tipo P11.

d) Montaje de paneles horizontales inferiores: Una vez montados los perfiles que componen la base del recinto, se montan los paneles horizontales L5 en la izquierda y derecha del suelo, así como, las L6 para la parte central del mismo, situándolas encima de los raíles que quedan entre las uniones de los perfiles (ver figura 12a).

e) Montaje de los perfiles centrales laterales: Se montan los perfiles P13 y P14, en los laterales izquierdo, derecho y trasero, fijándolos a la pletina central de los perfiles P1 y P3 (ver figura 12b).

f) Montaje de los paneles laterales y traseros: Una vez fijado cada perfil central, se van montando los paneles verticales L3, L4, L9 (L2), y L10 (L1). Los paneles L9 y L10 se sustituirán por los L1 y L2 según se utilice el equipo de rayos X o el de rayos gamma respectivamente (ver figura 12c).

5

g) Montaje del perfil inferior para puerta abatible. Se inicia el montaje de la puerta abatible, para ello, se monta el perfil P16 que permanecerá sin fijar hasta que no se complete el paso siguiente.

10

h) Montaje de perfiles verticales para la puerta abatible. Una vez montado el perfil inferior P16, se montan los perfiles verticales P17, P18, P19 y, P20 situados de izquierda a derecha, atornillándolos a las pletinas del perfil P16. Además, los perfiles P16, P19 y P20 irán unidos al perfil P5 en dos uniones que harán de bisagra para la puerta abatible (ver figura 4a).

15

i) Montaje de paneles verticales de la puerta abatible. De manera similar, se van introduciendo los paneles L9 en los laterales inferiores de la puerta abatible y el panel L8 en el centro, y luego los paneles L4 encima de los L9 y el panel L2 encima del L8 (ver figura 4b).

20

j) Montaje de perfiles horizontales superiores. Una vez montados todos los paneles de las paredes del recinto, se montan los perfiles horizontales P2, en los laterales de parte superior, P4 en la parte trasera y P6, en la delantera, fijándolos a los perfiles verticales correspondientes.

25

k) Montaje de perfil superior de la puerta abatible. Se fija el perfil P15 a los perfiles P17, P18, P19 y P20, que hará de maneta para abrir y cerrar la puerta abatible. Los pernos centrales se fijarán en el siguiente paso (ver figura 13a).

30

l) Montaje de perfiles centrales superiores. Se montan los últimos perfiles P12, situados en las ranuras de los perfiles P4 y P6. Una vez montados se atornillan, utilizando los dos pernos que quedan en la parte delantera del recinto como pernos provisionales que se retirarán cuando sea necesario abrir la puerta abatible (ver figura 13b).

35

m) Montaje de abrazadera de sujeción para tubo de Rayos X. En el caso de utilizar el equipo de Rayos X, se debe montar el aplique o accesorio A1 tipo abrazadera, encima de los dos perfiles centrales P12, a una distancia cercana al centro del recinto (ver figuras 7a y 7b), y el accesorio de material blindado A2 alrededor del tubo de rayos X.

5

n) Montaje del telemando para tubo de Rayos gamma En el caso de utilizar el recinto con el equipo de rayos gamma, se debe introducir el equipo completo dentro del recinto, al igual que para el caso anterior, la parte del telemando que debe ser conectada al equipo es más ancha que la manguera, por lo que queda un hueco entre la manguera y el panel blindado. Por lo tanto, se ha diseñado un accesorio unido a la manguera del telemando (aplique A3), similar al anterior A2, y teniendo en cuenta que la manguera del telemando es doble, queda de la manera mostrada en la figura 7d.

10

o) Montaje de paneles horizontales superiores: Por último, se montan los paneles L5, L6 y L7, dejándolos caer en los raíles de los perfiles superiores. Los paneles L5 se sitúan en los laterales, el panel L6 en la parte central delantera y el L7 encima del aplique A1, haciendo coincidir los huecos del panel con el perfil del aplique. Una vez completado este paso el recinto queda montado por completo (figura 1).

15

20 El tiempo estimado de montaje entre dos personas es de unos 30 minutos.

Debido al peso del recinto una vez montado, resulta imposible desplazarlo al lugar del emplazamiento de las operaciones normales de inspección en caso de que fuera necesario. Para solventar este problema será necesario disponer de una plataforma comercial de transporte del tipo de chasis de acero y cuatro ruedas cuya capacidad máxima de carga sea de 1050kg, suficiente para cargar con el recinto completo y equipos en su interior. De esta manera se podría ensamblar el recinto encima de la plataforma, teniendo únicamente que empujar por uno de los laterales del recinto para desplazarlo por los alrededores de la instalación, haciendo esta tarea mucho más fácil.

25

30

Ejemplo 4: Estimación del número de paneles necesarios para cada pared modular del recinto en base a los diferentes usos

A continuación, se indican el número de paneles necesarios para cada uno de los usos alternativos mencionados en la descripción:

35

Para uso del recinto para transporte del equipo radiactivo:

Según la guía de seguridad 5.14 del CSN, los equipos radiactivos que deban ser transportados deben hacerlo en vehículos autorizados, y estos deben poseer un cajón blindado a modo de reducir la emisión radiactiva del equipo durante el trayecto. La tasa de dosis máxima a recibir durante el trayecto para el conductor del vehículo y acompañantes autorizados debe ser menor a $11\mu\text{Sv/h}$.

Como resultado de haber realizado una medición experimental en la carcasa externa de un equipo gammagráfico, con una actividad de 28,6 Ci (1058 Bq), se ha obtenido con el radiómetro una tasa de dosis de $40\mu\text{Sv/h}$ en contacto con la carcasa del mismo.

Por este motivo, para conseguir que la dosis sea inferior al límite establecido serían necesarias al menos dos hemirreducciones, lo cual se consigue utilizando 4 paneles de material blindado.

Por ello, si se fabrica un paralelepípedo mediante perfiles y paneles blindados iguales a los utilizados para el presente recinto portátil y de medidas un poco superiores al contenedor gammagráfico (por ejemplo, $40\times 40\times 40\text{ mm}$) se puede garantizar la protección radiológica del conductor y acompañantes del vehículo.

Para uso del recinto como almacenamiento en obra del equipo radiactivo:

Según la guía de seguridad 5.14 del CSN, en este caso el límite de tasa de dosis debe ser de $2,5\mu\text{SV/h}$. Para ello, se ha realizado una medición experimental de la tasa de dosis recibida a una distancia de 15 cm de la carcasa del equipo gammagráfico, con una actividad de 24,5 Ci, donde resulta una tasa de dosis de $21,98\mu\text{Sv/h}$.

Para conseguir no rebasar el umbral establecido por el CSN, se deberían tener en cuenta 4 hemirreducciones como mínimo para un equipo con esa actividad, con lo cual serán necesarios como mínimo 8 paneles de material blindado, lo cual se dispondría de un paralelepípedo similar al anterior, pero con unas paredes modulares de 8 cm por lado en total.

Para uso de los paneles como barrera para refugio en campo:

En la mayoría de las inspecciones radiográficas llevadas cabo en campo abierto, la única barrera disponible es la del vehículo de empresa, donde el operador puede acudir a refugiarse si dispone de tiempo necesario antes de que tenga que guardar la

fuelle, o bien puede accionar el telemando detras del vehiculo con objeto de conseguir una proteccion adicional.

Tal y como se ha descrito, si el operador dispone de tiempo para situarse tras su vehiculo situado mas o menos a 20 metros de la fuente, estaria expuesto a una tasa de dosis de alrededor del doble del limite, una vez la fuente este en la posicion del colimador. Pero normalmente los tiempos de exposicion para llevar a cabo un ensayo en una union soldada son muy pequenos (del orden de segundos), por lo que el operador se mantiene en la posicion del telemando hasta que concluye el ensayo. 10 Adem as, mientras el operador esta accionando el telemando, la tasa de dosis se multiplica, ya que la fuente discurre por la manguera, sin contar con la proteccion que ofrece el colimador.

De manera similar a las anteriores, se ha realizado una medicion experimental de la tasa de dosis recibida en la posicion del operador y esta puede llegar a superar los 15 1000 µSv/h. Si delante del telemando se instalara de manera provisional una pantalla vertical compuesta por varios paneles blindados de un tam a o suficiente para cubrir al operador, la tasa de dosis podria reducirse en gran medida, disminuyendo la dosis total diaria a la que estaria expuesto el operador.

20

Ejemplo 5: Ensayos realizados con prototipos construidos.

Para poder contrastar la informacion determinada por el metodo numerico, y asi tener garantias a la hora de ver como se comporta el material blindado experimental, respecto a la radiacion incidente, se han realizado ensayos exponiendo pequenos prototipos de paneles blindados tanto a rayos X como a rayos gamma. Para medir la dosis de radiacion, se ha utilizado un radiometro de marca S.E. International y modelo Monitor 4EC el cual dispone de una exactitud de ±15 % del total de la escala (con referencia a Cs-137. Para cumplir los limites de tasa de dosis y garantizar la seguridad personal a la hora de realizar los ensayos, estos han sido realizados en un bunker registrado, construido a base de hormigon armado y plomo. 30

a) Ensayos con Rayos X.

Los ensayos con rayos X se han realizado con el tubo del fabricante General Electric Company, modelo Tubehousing ISOVOLT 160, similar al mostrado en la figura 7. El 35

- foco radiactivo del equipo apunta hacia abajo y se encuentra a una altura de 70 centímetros del suelo. Para realizar el ensayo se ha elaborado una tapadera con paneles blindados (A+B+A), con la medida de la ventana del tubo de rayos X, donde se encuentra el foco de la radiación. De esta manera, utilizando tapadera como barrera de blindaje ante la radiación producida por los rayos X, y midiendo antes y después de su montaje, se obtiene la atenuación lograda por el material blindado. La tapadera debe tener unas dimensiones tales que se consiga un buen ajuste, obteniéndose la menor fuga de radiación para aumentar la fiabilidad de los ensayos.
- 10 Para conocer el comportamiento del material blindado, se han realizado ensayos usando equipos radiográficos sin aplicar protección y, posteriormente, usando prototipos blindados contruidos a base de paneles blindados recortados, tal y como se muestra en la figura 2. A continuación, se determinan las tasas de dosis obtenida con el coeficiente de atenuación calculado experimentalmente ($\mu_{\text{exp}} = 1,25 \text{ cm}^{-1}$), para configuraciones de 1 y 4 paneles de material blindado (A+B+A), midiendo a una distancia de 10 metros.

Para una barrera de blindaje compuesta por una sola capa, aplicando la ecuación (1):

$$I_{10m} = 60 e^{-1,25 \cdot 0,977} = 17,69 \mu\text{Sv/h}$$

20

Para 4 capas de material:

$$I_{10m} = 60 e^{-1,25 \cdot 0,977 \cdot 4} = 0,45 \mu\text{Sv/h}$$

- Por tanto, tomando el peor de los casos, con la tasa más alta y el coeficiente más bajo se reduce la tasa de dosis a unos niveles muy bajos situándose a 10 metros de distancia, e incluso el operador podría posicionarse mucho más cerca cumpliendo con el límite requerido.

b) Ensayos con Rayos gamma.

30

Para la realización de los ensayos con rayos gamma se ha hecho uso del equipo gammagráfico registrado cedido por una empresa colaboradora, de marca QSA Global, modelo Sentinel 880. En el momento de la realización de los ensayos, el equipo contaba en su interior con una fuente radiactiva de iridio de 28,7 Ci de actividad.

35

En este caso, a modo de bancada o módulo de pruebas, se han fabricado prototipos en forma de paralelepípedos huecos compuestos por paneles del material blindado. En una de sus caras se practica un agujero con la finalidad de introducir la manguera del equipo gammagráfico en el interior, pudiendo comprobar así la cantidad de radiación fugada. Los prototipos se van escalando a medida que se van añadiendo capas, formando una estructura similar a las muñecas rusas (matrioskas).

El primero de los prototipos tiene unas dimensiones de 72x45x60 mm, mientras que el segundo se ha diseñado con unas dimensiones de 100x71x86 mm, con la intención de introducir el primero dentro de éste, y dejando una separación de 5 mm entre las paredes de cada uno.

Para construir los cubos se han utilizados 6 paneles de material, una de ellas con un agujero de 18 milímetros (medida del diámetro de la manguera). Estos paneles se han unido con adhesivo en todas las esquinas interiores y exteriores reduciendo así la cantidad de radiación fugada al realizar el ensayo.

El segundo paralelepípedo, como debe incluir al primero en su interior, se le ha realizado a la pared que tiene el agujero una bisagra para poder abrirlo y cerrarlo. Por otro lado, para poder centrar el cubo más pequeño en el interior del grande, garantizando la misma separación entre todas las caras, se han utilizado rollos de cartón cortados a 5 mm de anchura y unidos con adhesivo en el centro de cada cara del paralelepípedo pequeño.

De la misma manera que para los ensayos con Rayos X, el prototipo se ha dispuesto dentro del búnker, pero debido al alto poder radiactivo de la fuente de Rayos gamma, la medición se ha realizado esta vez en el exterior de la pared del búnker, a la altura del suelo.

Los ensayos se han realizado con la manguera sin protección, y utilizando 5 escenarios diferentes, situando los modelos de prueba con la fuente de dos maneras, primero pegada a la pared interior del búnker, a la altura del suelo, y después a un metro de la pared interior, también a la altura del suelo. Los cinco escenarios que se han elegido para realizar los ensayos son:

Escenario 1: Colimador

Escenario 2: Paralelepípedo pequeño

Escenario 3: Paralelepípedo grande

Escenario 4: Paralelepípedo pequeño dentro del paralelepípedo grande

Escenario 5: Colimador dentro del paralelepípedo grande

- 5 Los resultados se muestran en la gráfica de la figura 14 y, tal y como se aprecia, el blindaje más efectivo corresponde al escenario 1, como era esperable, ya que el colimador tiene un grosor de 10 mm y un coeficiente de atenuación mayor correspondiente al plomo. Mediante la protección aportada en el escenario 3, correspondiente a un paralelepípedo grande, se obtienen unos valores iguales a los
- 10 obtenidos sin utilizar protección, esto se debe a la tolerancia del aparato de medición y a que, este paralelepípedo dispone de una pequeña puerta con bisagra, por lo que su estanqueidad disminuye, teniendo la radiación más huecos por donde escapar. No obstante, para el escenario 4 que corresponde a ambos paralelepípedos juntos, sí que se observa atenuación comparado con el escenario 2, ya que el valor pasa de 150
- 15 $\mu\text{Sv/h}$ a 100 $\mu\text{Sv/h}$.

Por último, se determinan los valores para la tasa de dosis con el valor del coeficiente experimental ($\mu_{\text{exp}} = 0,294 \text{ cm}^{-1}$) teniendo en cuenta la tasa de dosis teórica, para contemplar el peor de los casos. Para una distancia de 10 metros, utilizando hasta 8

20 paneles de material blindado (A+B+A).

Para una barrera de blindaje compuesta por un único panel blindado, aplicando la ecuación (1):

$$I_{10m} = 180 e^{-0,294 \cdot 0,977} = 135 \mu\text{Sv/h}$$

25

Para 8 paneles de material (espesor = 78,16mm):

$$I_{10m} = 180 e^{-0,294 \cdot 0,977 \cdot 8} = 18,08 \mu\text{Sv/h}$$

REIVINDICACIONES

1. Recinto blindado, portátil, para aplicaciones que usen radiación ionizante, diseñado a base de paneles modulares fabricados a partir de materiales reciclados, que comprende:
 - a) Una estructura portante compuesta por 26 perfiles metálicos huecos, 12 estructurales y 14 de refuerzo en forma de H o T, que sirven de guía para el montaje de los paneles modulares que componen las paredes del recinto.
 - b) 34 paneles modulares que componen las paredes del recinto, dos de ellos intercambiables para adaptar el recinto a la fuente de radiación a emplear, compuestos por la unión de dos o más paneles blindados contruidos por tres capas a modo de sándwich, donde las dos capas exteriores están fabricadas a partir de la fracción polimérica obtenida del reciclaje de cables eléctricos y la capa central está compuesta por láminas del material atenuante a base de aleación de plomo que incorporan las películas radiográficas una vez retirado el papel que está adherido en la cara inferior de la lámina.
2. Recinto, según reivindicación 1, caracterizado por que los paneles blindados que conforman cada uno de los paneles modulares van unidos entre sí mediante adhesivo para polímeros, hasta alcanzar el espesor necesario que aporte un nivel de atenuación del riesgo radiológico adecuado.
3. Recinto, según reivindicaciones 1 y 2, caracterizado por que los paneles blindados que conforman los paneles modulares laterales del recinto se colocan levemente desplazados entre sí, para formar una estructura machihembrada.
4. Recinto, según reivindicaciones 1 y 2, caracterizado por que los paneles blindados que conforman los paneles modulares horizontales del recinto van unidos entre ellos mediante un corte en forma de solape.
5. Recinto, según reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que los perfiles cuentan con hendiduras tanto en la parte vertical, para colocación de los paneles verticales gracias a su estructura machihembrada, como en la parte

horizontal para soportar sobre ellos los paneles horizontales que se unen entre sí con el corte en forma de solape.

- 5 6. Recinto, según reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que una de las paredes laterales del recinto está articulada a modo de puerta abatible, de manera que tirando de una maneta o asa situada en el perfil superior de una de las caras del recinto se abate la pared al completo, quedando accesible todo el interior del recinto.
- 10 7. Recinto, según reivindicación 6, caracterizado por que el abatimiento de la puerta se consigue mediante las uniones atornilladas inferiores de los dos perfiles centrales que actúan de bisagra o charnela.
- 15 8. Recinto, según reivindicación 1, caracterizado por que uno de los paneles modulares intercambiables está configurado para la utilización del recinto con un equipo de rayos X, para lo cual dispone de un agujero de diámetro idéntico al del tubo que es necesario introducir en el recinto de manera que este siga estando cerrado por todos lados.
- 20 9. Recinto, según reivindicación 1, caracterizado por que cuenta con una abrazadera metálica (A1) unida a los perfiles centrales del techo del recinto para sujetar el tubo que es necesario introducir en el recinto cuando la fuente de radiación empleada es un equipo de rayos X.
- 25 10. Recinto, según reivindicaciones 1, 8 y 9, caracterizado por que la sujeción del tubo en el interior del recinto, cuando la fuente de radiación empleada es un equipo de rayos X, se realiza con dos puntos de apoyo formados por el agujero que presenta el panel intercambiable a través del cual discurre y de la abrazadera metálica sujeta a los perfiles centrales del techo del recinto.
- 30 11. Recinto, según reivindicaciones 1, 8, 9 y 10, caracterizado por que para tapar los huecos que quedan en la unión del orificio del panel vertical intercambiable y el perímetro del tubo de rayos X, cuenta con un accesorio circular o prensaestopas (A2) fabricado en material blindado garantizando además la sujeción de éste.
- 35

12. Recinto, según reivindicación 1, caracterizado por que uno de los paneles intercambiables está configurado para la utilización del recinto con un equipo de rayos gamma, para lo cual dispone de un agujero de diámetro igual a la envolvente de las dos mangueras del telemando.
- 5
13. Recinto, según reivindicaciones 1 y 12, caracterizado por que para tapar los huecos que quedan en la unión del orificio de la plancha y el perímetro de las mangueras del telemando, se utiliza un accesorio circular o prensaestopas (A3) fabricado en material blindado garantizando también la sujeción de éste.
- 10
14. Procedimiento de construcción del recinto, según reivindicaciones anteriores, que comprende las siguientes etapas:
- a) Montaje de uno de los vértices inferiores del recinto, compuesto por dos perfiles laterales horizontales con un perfil vertical formando una primera esquina.
- 15
- b) Montaje del resto de esquinas inferiores del recinto.
- c) Montaje de los dos perfiles centrales de la base del recinto.
- d) Montaje de los paneles horizontales inferiores que conforman el suelo del recinto.
- 20
- e) Montaje de los perfiles centrales laterales y traseros, uno a cada lado y dos en la parte posterior.
- f) Montaje de paneles laterales y traseros, situándolos encima de los raíles que quedan entre las uniones de los perfiles.
- g) Montaje del perfil inferior para puerta abatible.
- 25
- h) Montaje de perfiles verticales para puerta abatible.
- i) Montaje de paneles verticales de la puerta abatible.
- j) Montaje de perfiles horizontales superiores.
- k) Montaje de perfil superior de puerta abatible.
- l) Montaje de perfiles centrales superiores.
- 30
- m) Montaje de abrazadera de sujeción del tubo de Rayos X.
- n) Montaje de accesorio para telemando si se usan Rayos gamma.
- o) Montaje de paneles horizontales superiores, situándolos en los raíles de los perfiles superiores.

15. Procedimiento de fabricación paneles blindados, empleados en la construcción de los paneles modulares del recinto blindado, según reivindicación 1, que comprende las siguientes etapas:
- 5 a) Triturar y tamizar la fracción polimérica de cables eléctricos desechados hasta conseguir una granulometría promedio de 4mm gránulos.
 - b) Mezclar al 50% la fracción polimérica, con una resina de poliuretano (PU).
 - 10 c) Colocar una primera capa de la fracción polimérica+PU vertiéndola en un molde hasta alcanzar una altura de entre 3,5 y 4 mm en toda la extensión del molde.
 - d) Insertar las láminas de aleación de plomo en toda la extensión del molde hasta alcanzar una altura de 2-2,5mm aproximadamente.
 - 15 e) Colocar la tercera capa de la fracción polimérica+PU hasta alcanzar una altura de entre 3 y 3,5mm aproximadamente.
 - f) Cerrar el molde y proceder al proceso de prensado por compresión con ayuda de una fuente térmica que favorezca la polimerización de materiales y aglutinantes hasta un punto en el que se queda unido por compresión, al tiempo que se produce la eliminación del sobrante de
 - 20 PU.
16. Uso del recinto blindado, según reivindicaciones 1 a 7 y 15, a modo de cajón blindado para el transporte del equipo gammagráfico en vehículos para su desplazamiento de la delegación propietaria del equipo hasta el emplazamiento de la inspección, empleando para ello 4 paneles blindados.
- 25
17. Uso del recinto blindado, según reivindicaciones 1 a 7 y 15, para almacenamiento temporal a pie de obra del equipo gammagráfico, empleando para ello 8 paneles blindados.
- 30
18. Uso de los paneles blindados, compuestos por tres capas a modo de sándwich, donde las dos capas exteriores están fabricadas a partir de la fracción polimérica obtenida del reciclaje de cables eléctricos y la capa central está compuesta por láminas del material atenuante a base de una aleación de
- 35 plomo, que protegen las películas radiográficas una vez retirado el papel adherido en la cara posterior de la lámina, obtenidos según procedimiento

recogido en reivindicación 15, como barrera para refugio en campo en inspecciones radiográficas llevadas cabo en campo abierto.

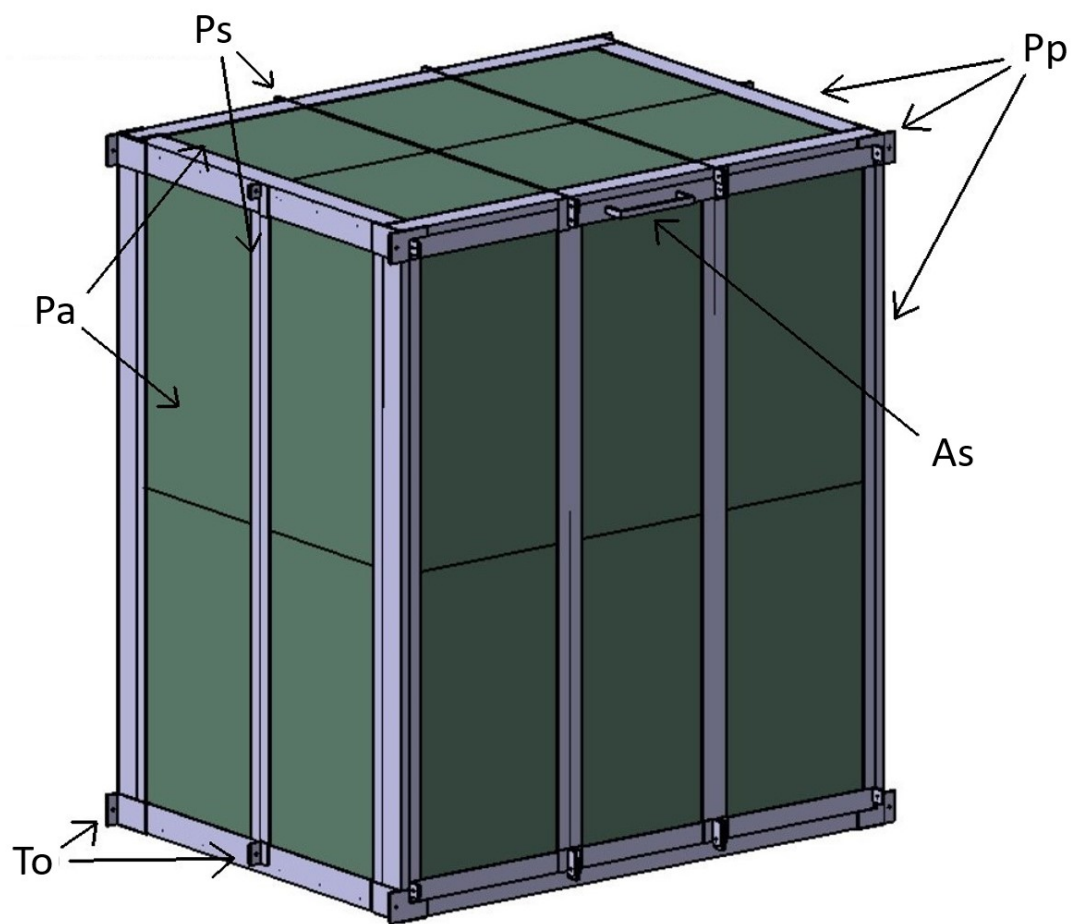


Fig. 1

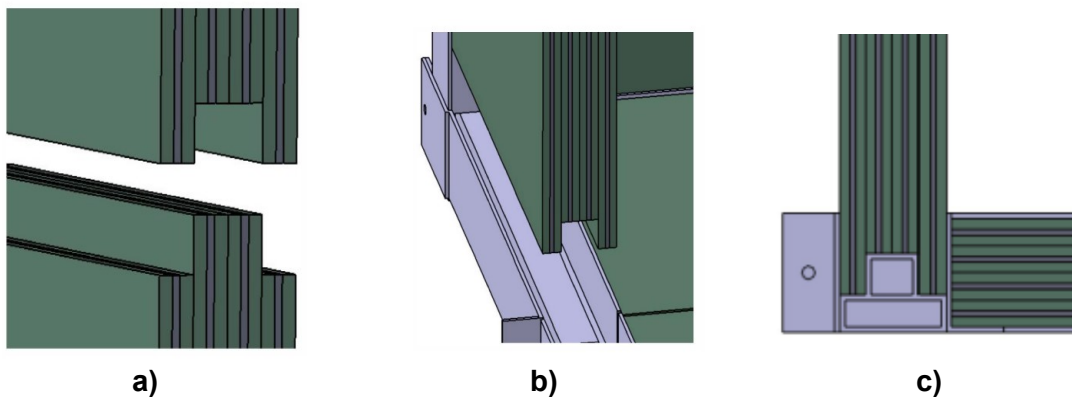


Fig. 2

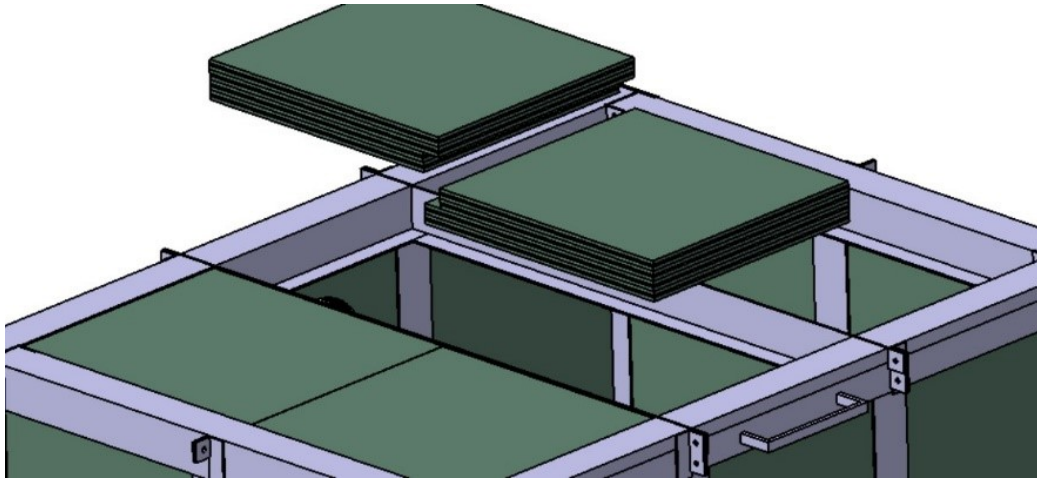


Fig. 3

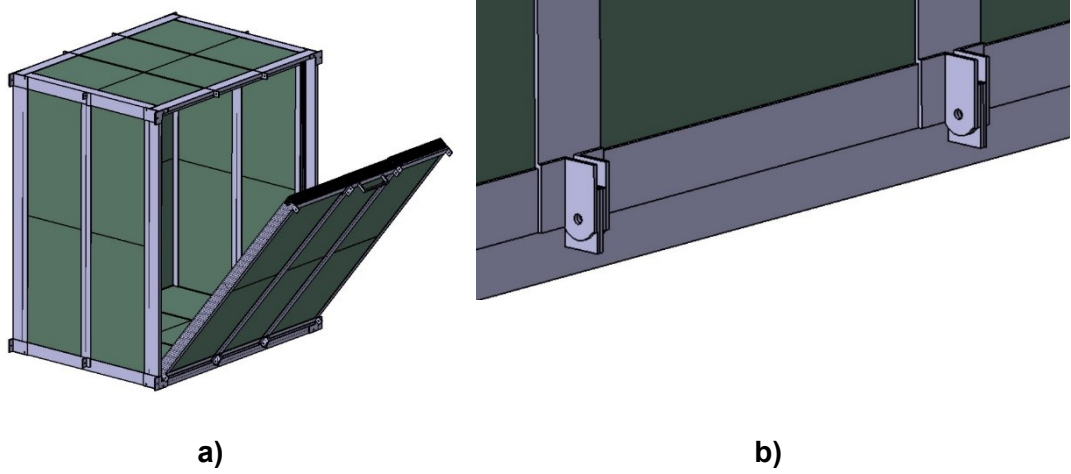
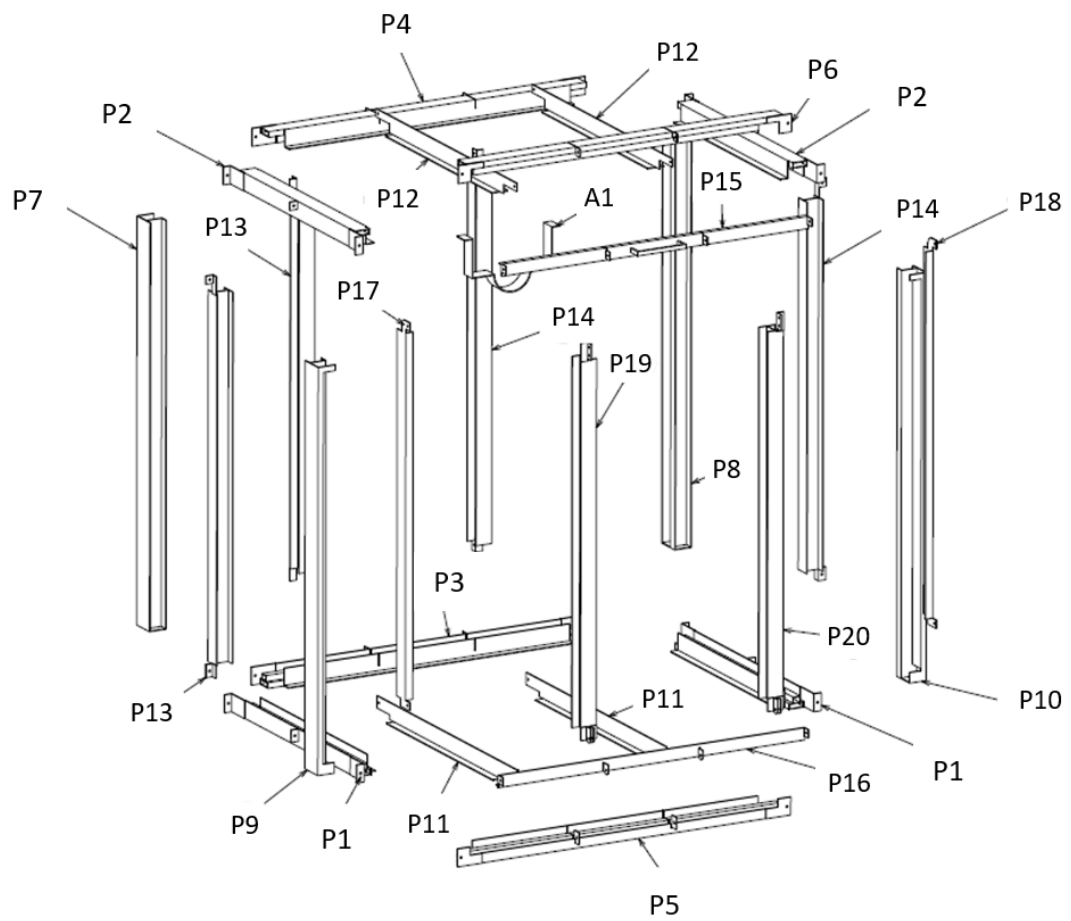
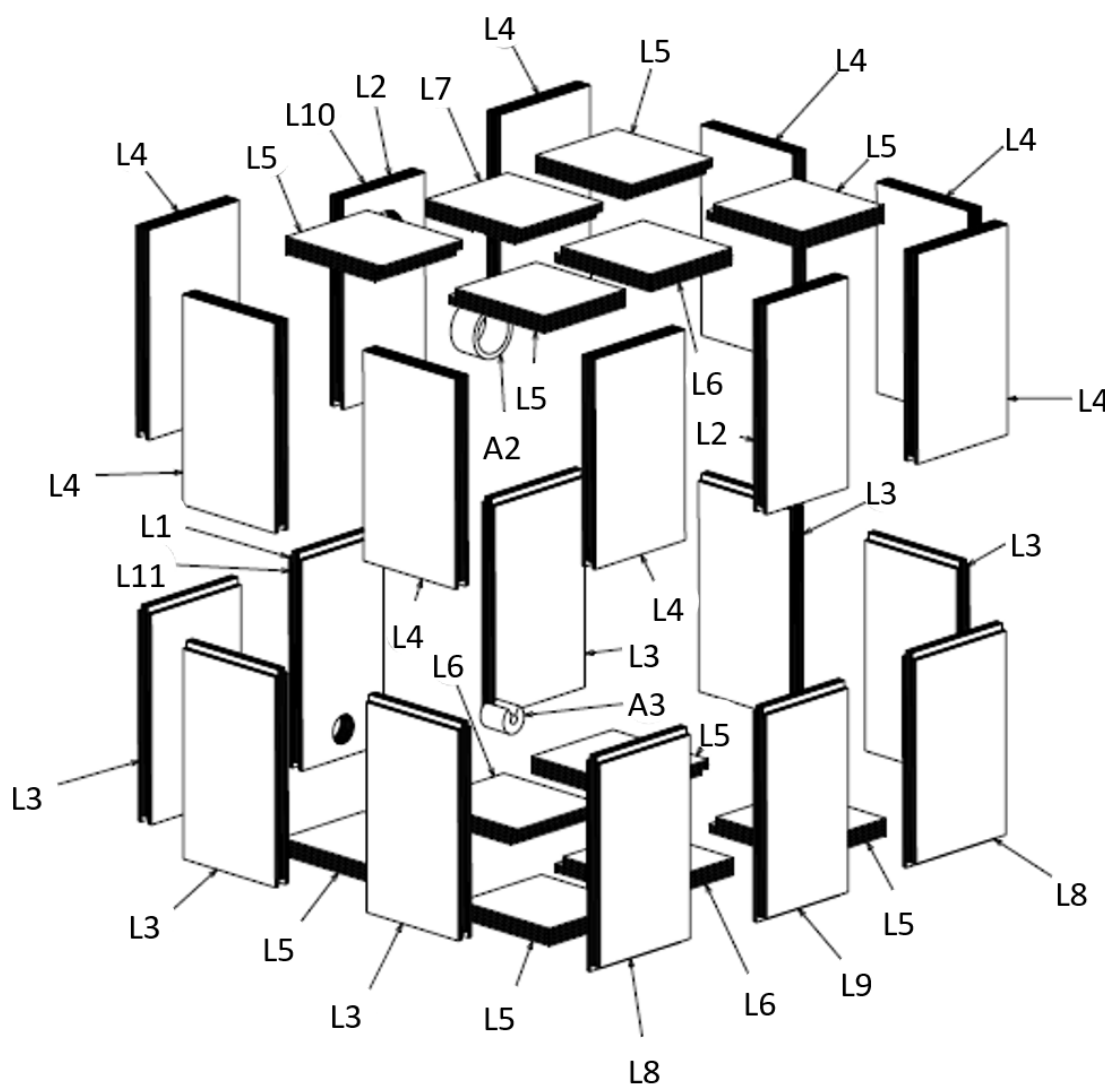


Fig. 4



| Designación | Cantidad |
|-------------|----------|
| P1 | 2 |
| P2 | 2 |
| P3 | 1 |
| P4 | 1 |
| P5 | 1 |
| P6 | 1 |
| P7 | 1 |
| P8 | 1 |
| P9 | 1 |
| P10 | 1 |
| P11 | 2 |
| P12 | 2 |
| P13 | 2 |
| P14 | 2 |
| P15 | 1 |
| P16 | 1 |
| P17 | 1 |
| P18 | 1 |
| P19 | 1 |
| P20 | 1 |
| A1 | 1 |

Fig. 5 a)



| Designación | Cantidad |
|-------------|----------|
| A2 | 1 |
| A3 | 1 |
| L1 | 1 |
| L2 | 2 |
| L3 | 6 |
| L4 | 8 |
| L5 | 8 |
| L6 | 3 |
| L7 | 1 |
| L8 | 2 |
| L9 | 1 |
| L10 | 1 |
| L11 | 1 |

Fig. 5 b)

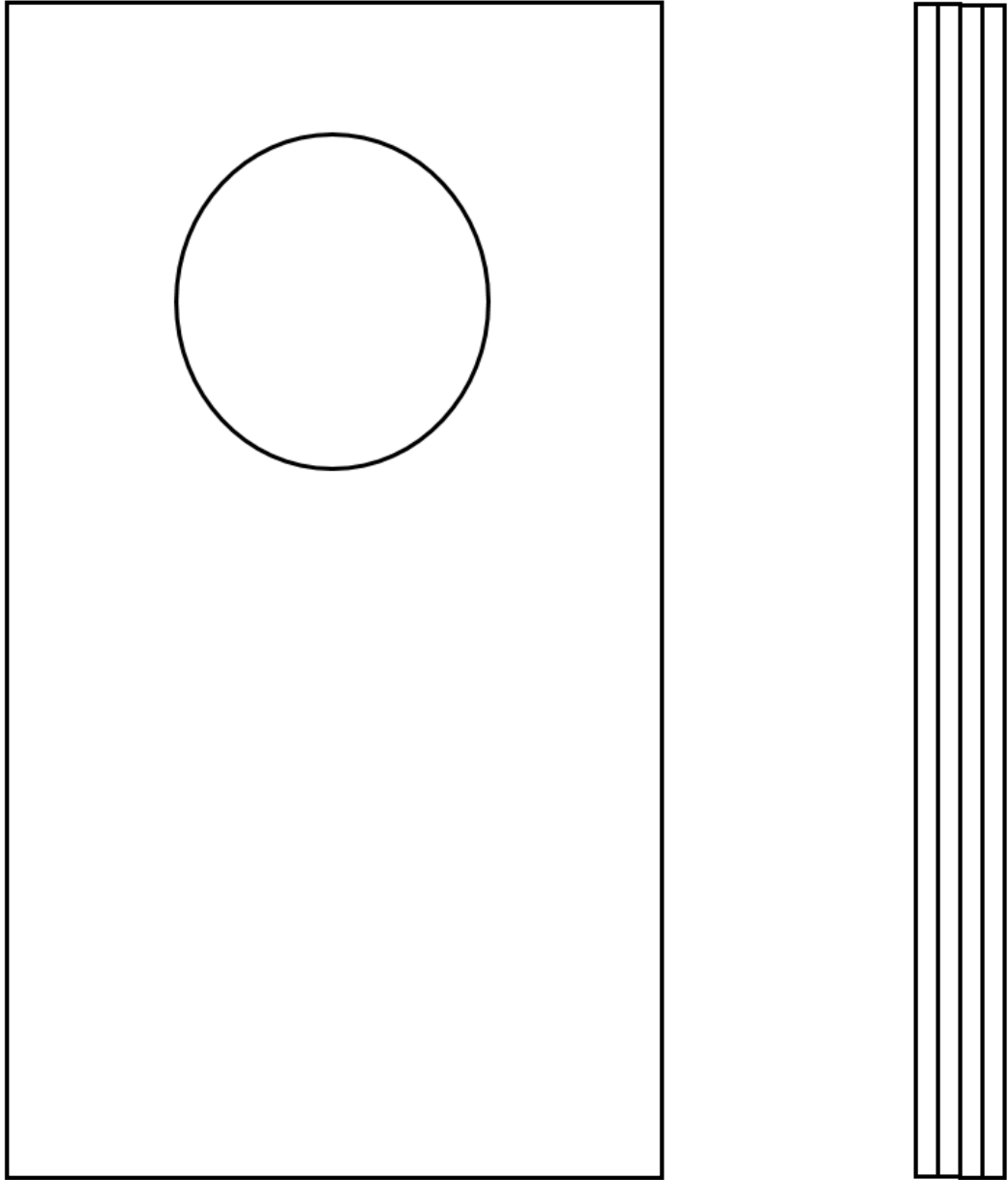


Fig. 6 a)

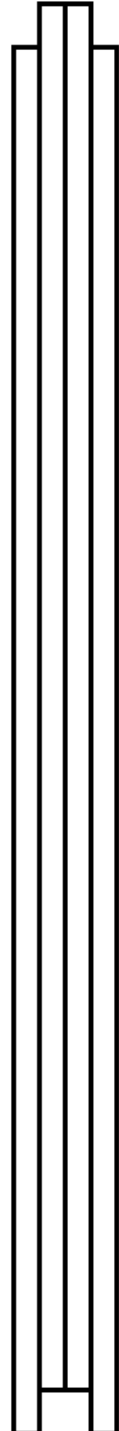
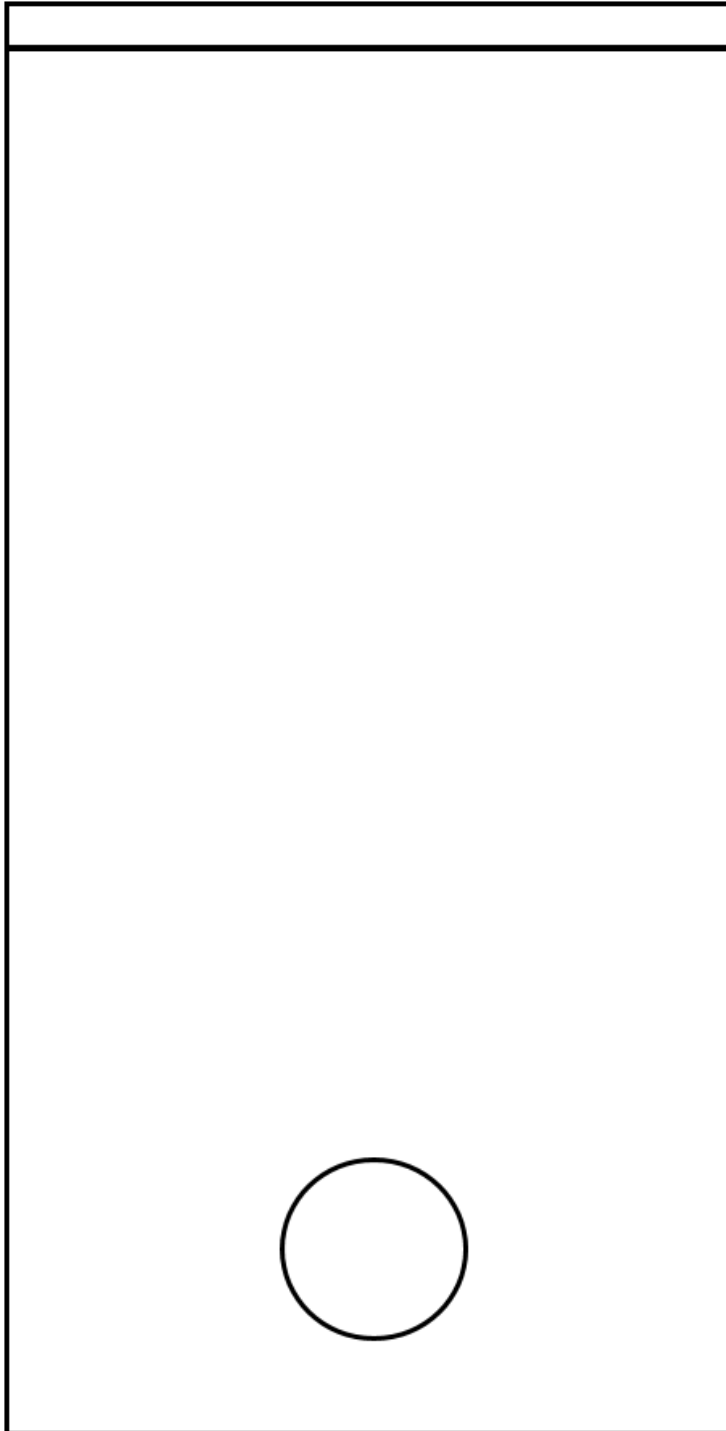


Fig. 6 b)

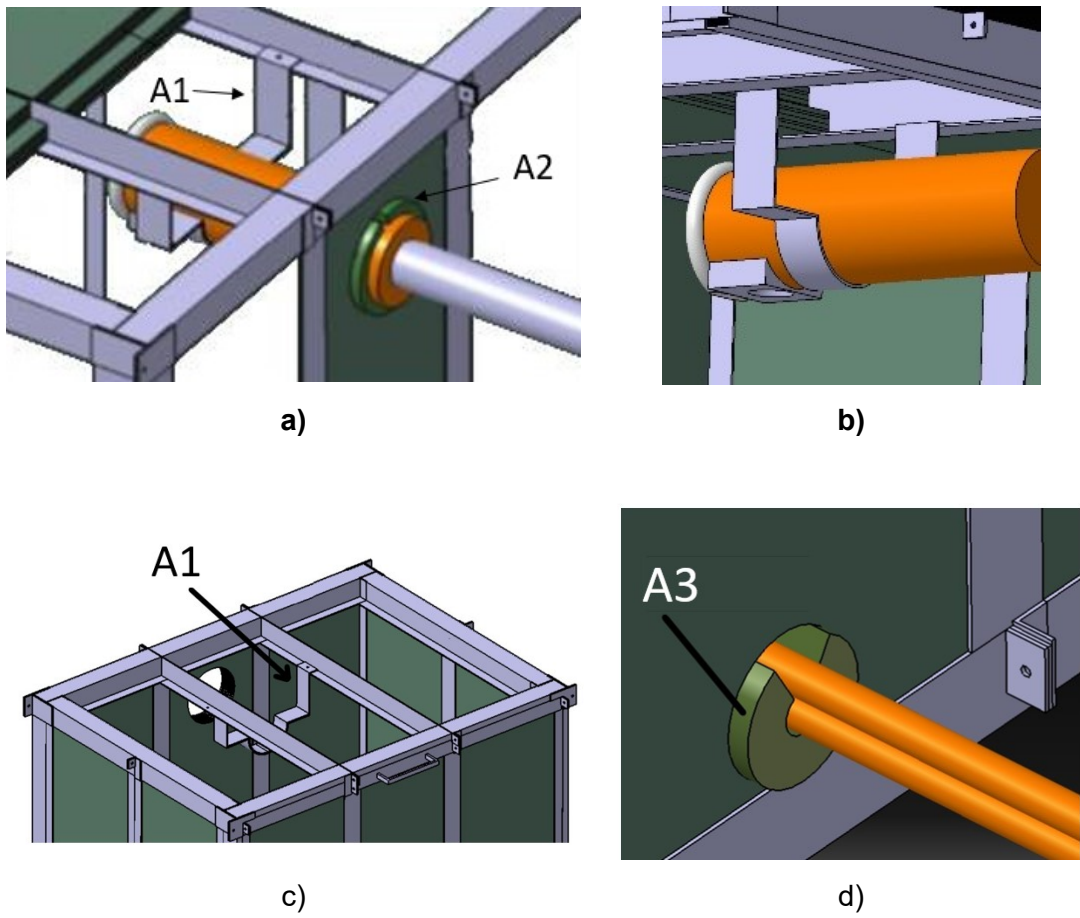
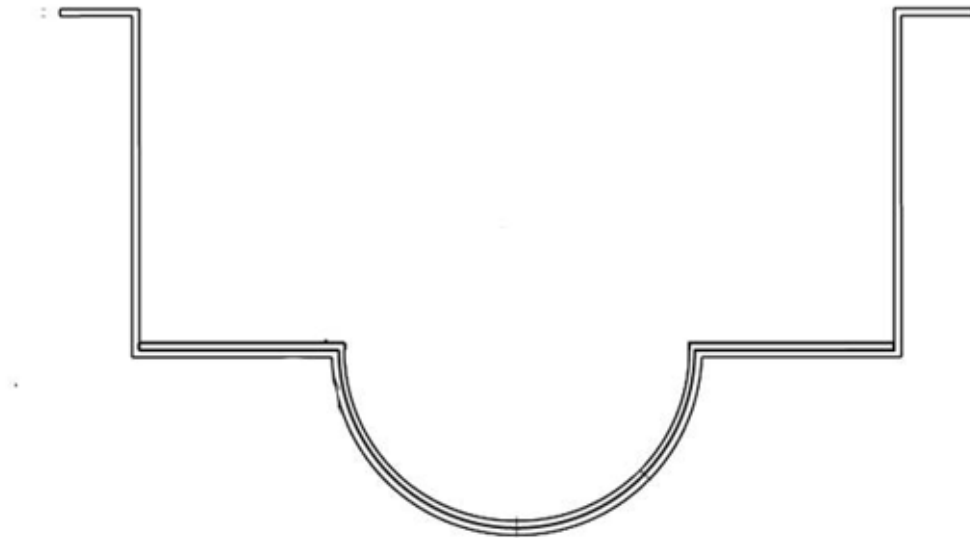


Fig. 7



8 a)

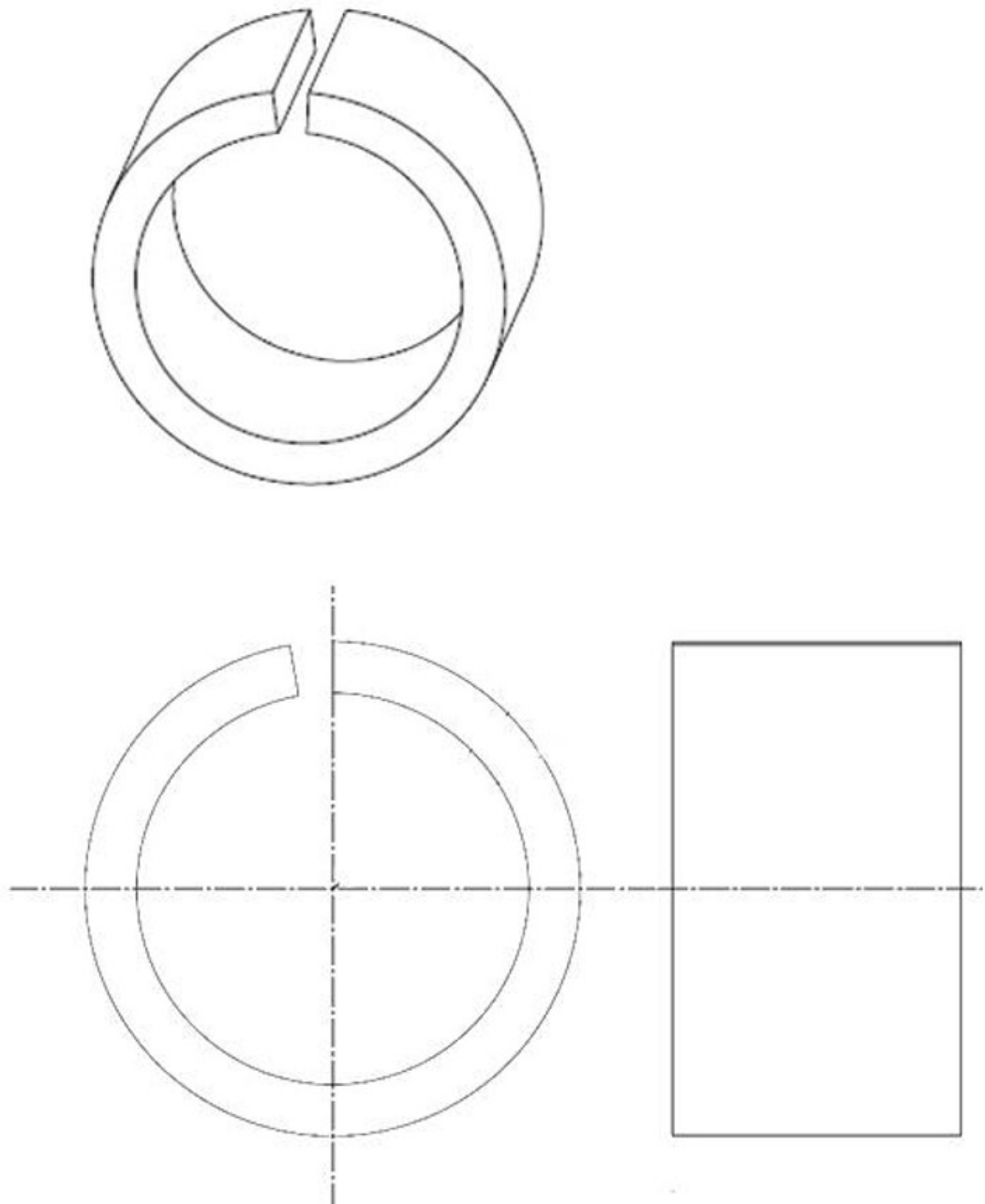


Fig.8 b)

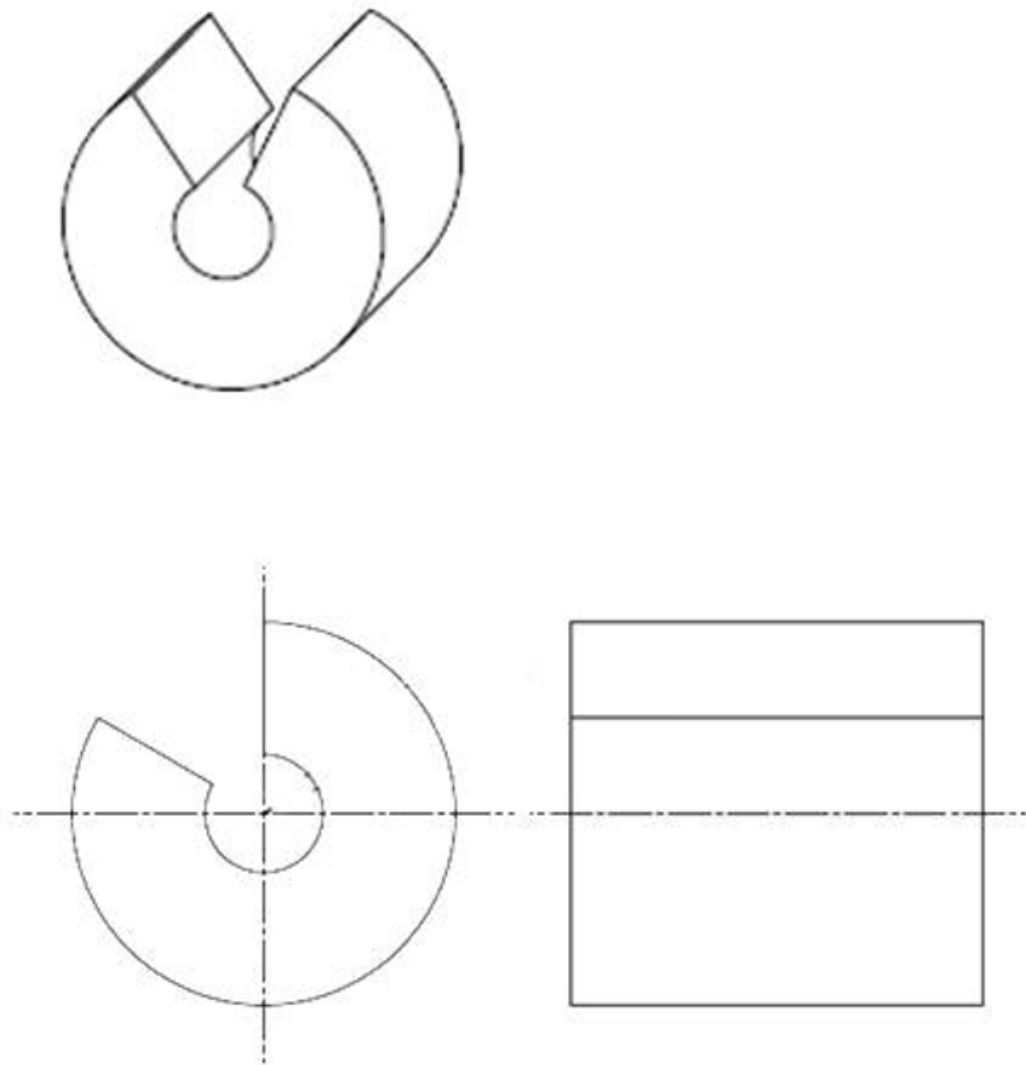


Fig. 8 c)

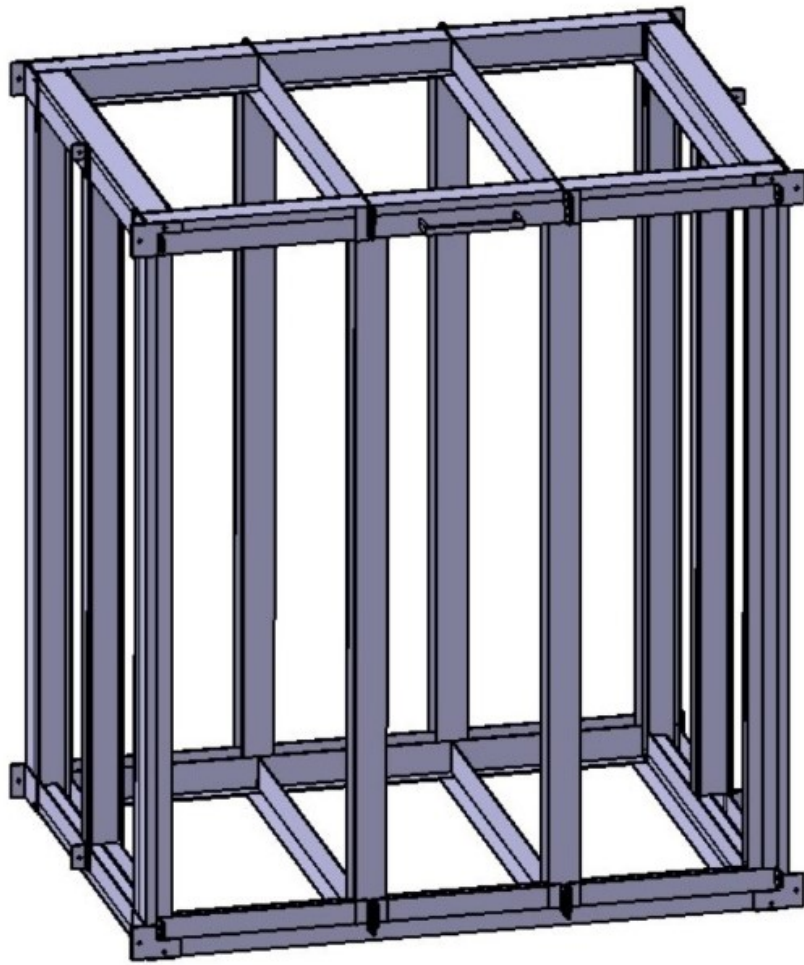


Fig. 9

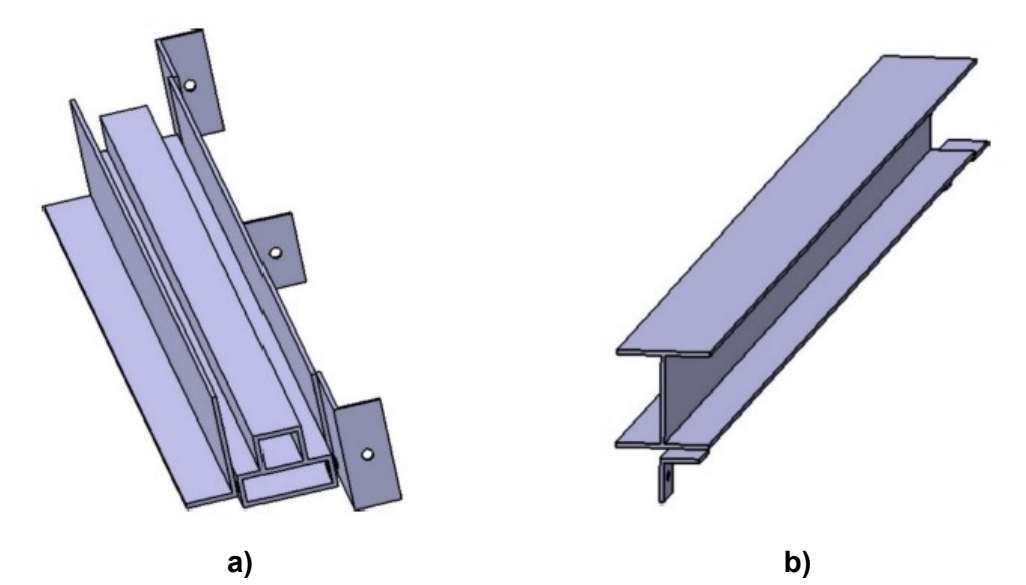


Fig. 10

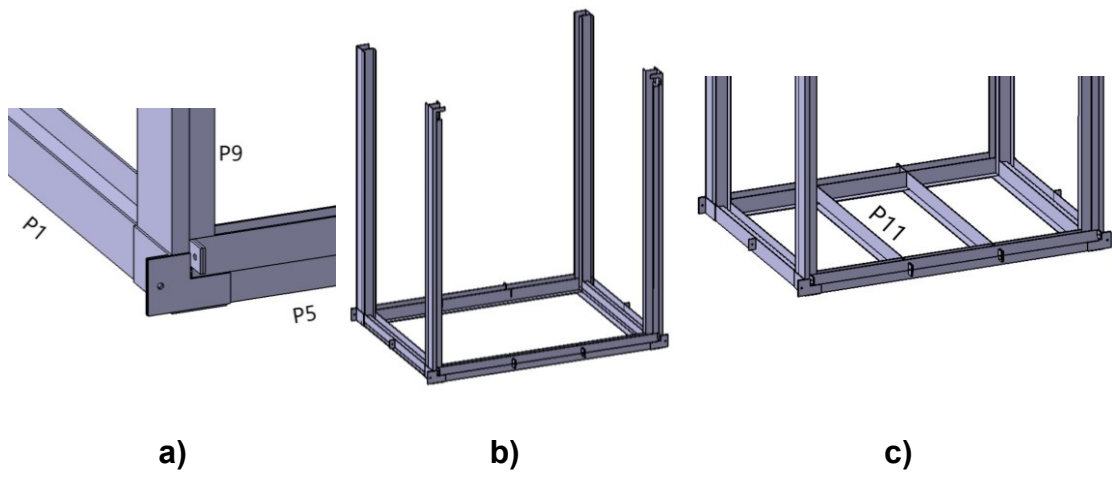


Fig. 11

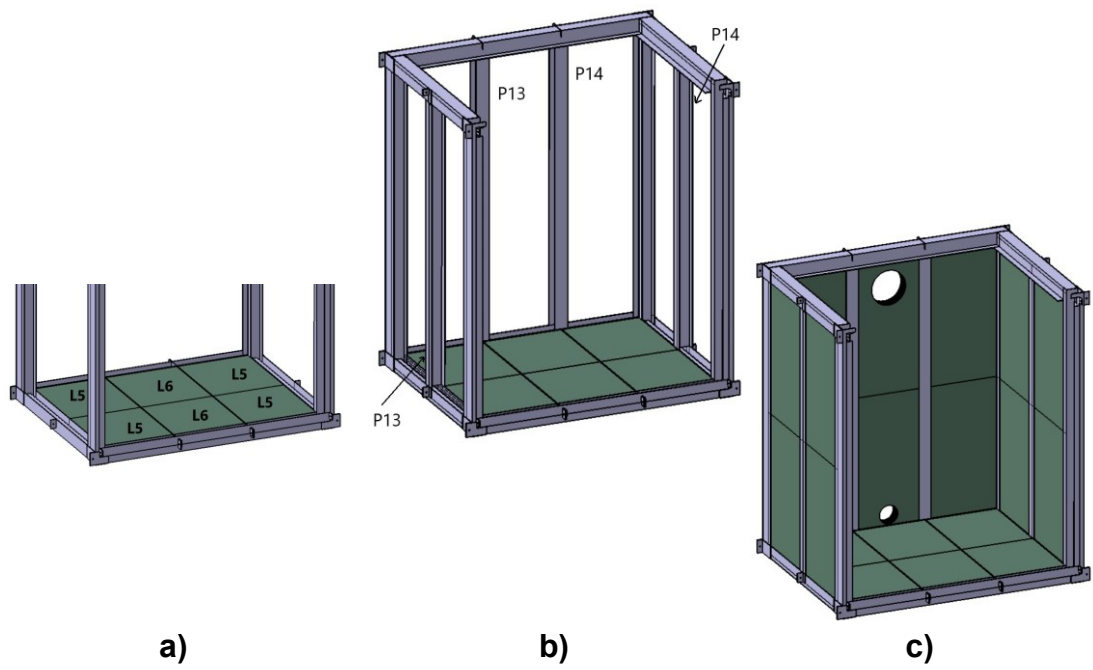


Fig. 12

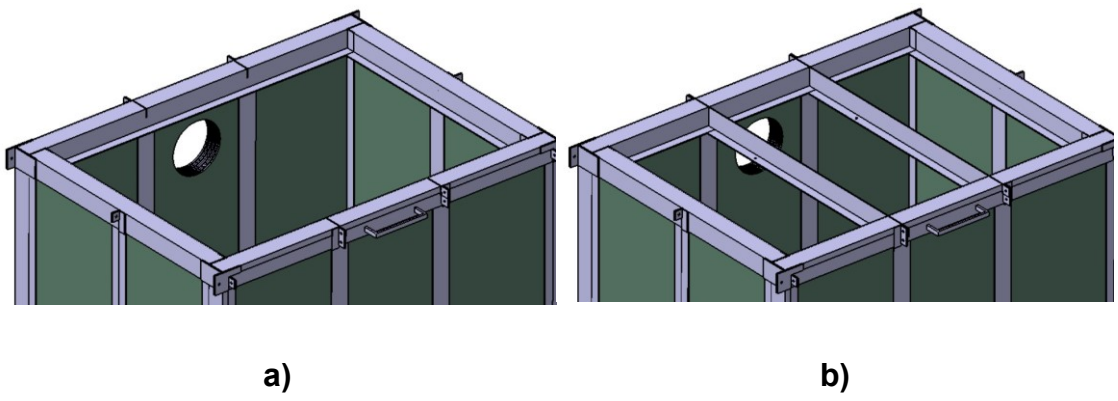


Fig. 13

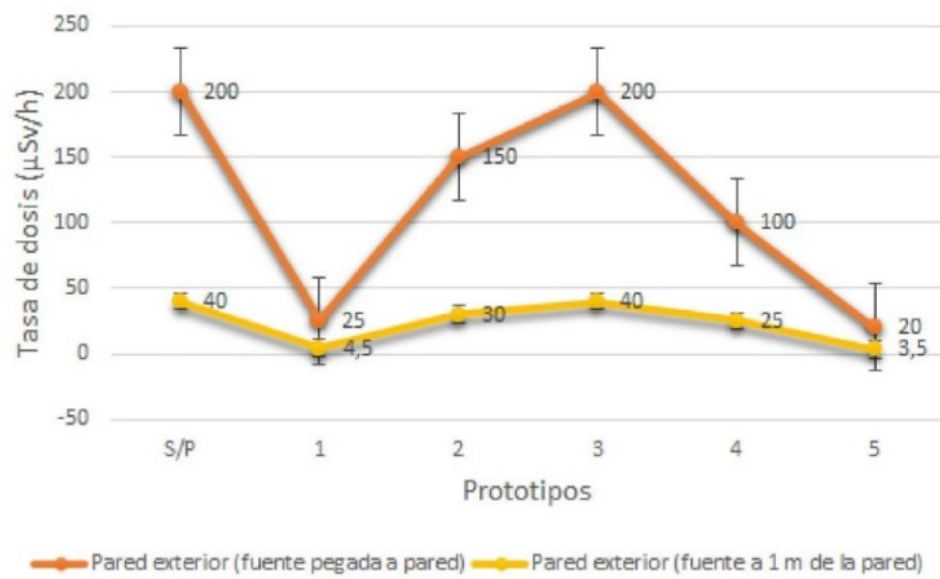


Fig. 14