



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 286 663**

51 Int. Cl.:

A61B 6/10 (2006.01)

G21F 3/03 (2006.01)

G21F 1/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **04764812 .6**

86 Fecha de presentación : **03.09.2004**

87 Número de publicación de la solicitud: **1536732**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **08.06.2005**

54 Título: **Material ligero de protección radiológica para un gran intervalo de aplicación de energías.**

30 Prioridad: **03.09.2003 DE 103 40 639**
08.01.2004 DE 10 2004 001 328

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.12.2007

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.12.2007

73 Titular/es: **Mavig GmbH**
Stahlgruberring 5
81829 München, DE

72 Inventor/es: **Eder, Heinrich**

74 Agente: **Carpintero López, Francisco**

ES 2 286 663 T3

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

ES 2 286 663 T3

DESCRIPCIÓN

Material ligero de protección radiológica para un gran intervalo de aplicación de energías.

5 La invención se refiere a un material alternativo al plomo para fines de protección radiológica en el intervalo de energías de un tubo de rayos X con una tensión de 60-140 kV.

El traje de protección radiológica habitual para aplicación en el radiodiagnóstico contiene principalmente plomo u óxido de plomo como material de protección.

10 Se desea especialmente una sustitución de este material de protección por otros materiales debido a los siguientes motivos:

15 Por una parte, el plomo y su procesamiento llevan a un gran impacto ambiental debido a su toxicidad; por otra parte, el plomo lleva necesariamente a un peso muy alto del traje de protección debido a su peso muy elevado y por tanto a una fuerte carga física del usuario. Al llevar el traje de protección, por ejemplo en operaciones médicas, el peso es de gran importancia para la comodidad de uso y la carga física del médico y del personal asistente.

20 Por esto, desde hace años se busca un material alternativo al plomo en la protección radiológica. A este respecto, predominantemente se propone la utilización de elementos químicos o sus compuestos con el número atómico de 50 a 76.

25 El documento DE19955192A1 describe un procedimiento para la fabricación de un material de protección radiológica de un polímero como material de matriz y del polvo de un metal de número atómico alto.

El documento DE20100267U1 describe un material de protección radiológica de alta elasticidad, ligero, flexible, gomoso, en el que a un polímero especial se le añaden aditivos de elementos químicos y sus óxidos con un número atómico mayor o igual a 50.

30 Para reducir el peso con respecto a los delantales de plomo habituales, en el documento EP0371699A1 se propone un material que también presenta, además de un polímero como matriz, elementos de número atómico más alto. A este respecto se menciona un gran número de metales.

35 El documento DE10234159.1 describe un material alternativo al plomo para fines de protección radiológica en el intervalo de energías de un tubo de rayos X con una tensión de 60-125 kV.

40 El documento FR-A-2741472 describe aleaciones de metales que se utilizan en el campo de la protección radiológica. Las aleaciones contienen preferiblemente plomo o, cuando no está contenido plomo, éstas no presentan wolframio.

Del documento US-A-5.360.666 se conocen materiales para escudos de protección para uso durante un tratamiento con radiación. Los materiales son aleaciones que están compuestas por dos elementos, de los cuales ninguno de ellos es wolframio.

45 Dependiendo de los elementos utilizados, el grado de atenuación o el equivalente de plomo (Patrón internacional IEC 61331-1, Protective devices against diagnostic medical x-radiation) del material respectivo muestra una dependencia en parte muy marcada de la energía radiada, que es una función de la tensión del tubo de rayos X.

50 Los materiales sin plomo tienen, en comparación con el plomo, un comportamiento de absorción en parte fuertemente variable en función de la energía de los rayos X. Por eso, para la imitación del comportamiento de absorción del plomo a maximización simultánea del ahorro de peso se necesita una combinación ventajosa de diferentes elementos.

55 Así, los trajes de protección radiológica conocidos de material sin plomo poseen, en comparación con plomo, una disminución más o menos fuerte de la absorción por debajo de 70 kV y por encima de 110 kV, especialmente por encima de 125 kV. Es decir, para lograr el mismo efecto de blindaje que en el material que contiene plomo se necesita para este intervalo de tensión en el tubo un mayor peso por unidad de superficie del traje de protección.

60 Por esto, el campo de aplicación del traje de protección radiológica sin plomo habitual en el comercio es generalmente limitado.

65 Para poder sustituir el plomo para fines de protección radiológica es necesario un comportamiento de absorción lo más similar posible al del plomo durante un intervalo de energías mayor, ya que las sustancias de protección radiológica se clasifican normalmente según el equivalente de plomo y los cálculos de protección radiológica se basan frecuentemente en los equivalentes de plomo.

Por equivalente de plomo total en una estructura en forma de capas protectoras de un material alternativo al plomo se entiende el equivalente de plomo de la suma de todas las capas protectoras. Por equivalente de plomo nominal total

ES 2 286 663 T3

se entiende según DIN EN 61331-3 el equivalente de plomo indicado por el fabricante para el equipo de protección personal.

5 Por material de matriz se entiende la capa de soporte para los materiales de protección que puede estar compuesta, por ejemplo, por goma, látex, polímeros flexibles o rígidos.

Para determinadas aplicaciones de rayos X, como la tomografía computarizada y en las mediciones de la densidad ósea, pero también en los aparatos de inspección de equipajes, aparecen tensiones de rayos X de hasta 140 kV.

10 El objetivo de la presente la invención consiste en sustituir el plomo como material de protección radiológica en cuanto a sus propiedades de blindaje durante un amplio intervalo de energías de un tubo de rayos X, es decir, durante un gran intervalo de energías, y a este respecto alcanzar al mismo tiempo una reducción de peso lo más grande posible. Además, en comparación con el plomo deben utilizarse exclusivamente materiales no contaminantes.

15 El objetivo de la invención se alcanza mediante un material alternativo al plomo para fines de protección radiológica en el intervalo de energías de un tubo de rayos X con una tensión de 60-140 kV, en el que el material alternativo al plomo comprende 12-22% en peso de material de matriz, 0-75% en peso de estaño o compuestos de estaño, 0-73% en peso de wolframio o compuestos de wolframio, 0-80% en peso de bismuto o compuestos de bismuto y en el que como mucho uno de los constituyentes asciende al 0% en peso, no tratándose en este constituyente de wolframio o el
20 compuesto de wolframio. La mezcla comprende equivalentes de plomo totales nominales de 0,25-2,0 mm.

Por tanto, para alcanzar el objetivo fue necesario encontrar una selección de materiales y su selección de cantidades que pudiera blindar de manera muy eficaz la radiación de rayos X, también en el intervalo de energías alto.

25 Se encontró de manera sorprendente que el efecto de absorción a altas energías mejora esencialmente mediante altas proporciones de wolframio y/o bismuto, en el que el wolframio siempre está presente, en el material alternativo al plomo.

30 En una forma de realización preferida de la invención, el material alternativo al plomo se caracteriza porque comprende 12-22% en peso de material de matriz, 0-39% en peso de Sn o compuestos de Sn, 0-60% en peso de W o compuestos de W y 0-60% en peso de Bi o compuestos de Bi y en el que como mucho uno de los constituyentes asciende al 0% en peso, no tratándose en este constituyente de wolframio o el compuesto de wolframio.

35 En una forma de realización con especial preferencia de la invención, el material alternativo al plomo se caracteriza porque comprende 12-22% en peso de material de matriz, 0-39% en peso de Sn o compuestos de Sn, 16-60% en peso de W o compuestos de W y 16-60% en peso de Bi o compuestos de Bi.

40 En otra forma de realización preferida de la invención, el material alternativo al plomo se caracteriza porque comprende 12-22% en peso de material de matriz, 40-60% en peso de Sn o compuestos de Sn, 7-15% en peso de W o compuestos de W y 7-15% en peso de Bi o compuestos de Bi.

45 En otra forma de realización con especial preferencia de la invención, el material alternativo al plomo se caracteriza porque comprende adicionalmente el 40% en peso de uno o varios de los siguientes elementos Er, Ho, Dy, Tb, Gd, Eu, Sm, La, Ce, Nd, Cs, Ba, I y/o sus compuestos y/o CsI.

50 En la siguiente tabla 1 se representan los coeficientes de atenuación máscicos de las sustancias de protección sin plomo fuera de los bordes de absorción a distintas energías de fotones. Los elementos que van a utilizarse ventajosamente a la energía respectiva están subrayados.

TABLA 1

55

Energía (keV)	Sn	Gd	Er	W	Bi	
40	<u>19,42</u>	6,92	8,31	10,67	<u>14,95</u>	
50	<u>10,70</u>	3,86	4,63	5,94	<u>8,38</u>	
60	6,56	<u>11,75</u>	<u>13,62</u>	3,71	5,23	
80	3,03	5,57	<u>6,48</u>	<u>7,81</u>	2,52	
100	1,67	3,11	3,63	<u>4,43</u>	<u>5,74</u>	
65	150	0,61	1,10	1,28	<u>1,58</u>	<u>2,08</u>

ES 2 286 663 T3

Mediante el material alternativo al plomo, que adicionalmente comprende uno o varios de los elementos Er, Ho, Dy, Tb, Gd, Eu, Sm, La, Ce, Nd, Cs, Ba, I y/o sus compuestos y/o CsI, se alcanza un aumento especialmente fuerte del efecto de absorción. De esta manera puede reducirse esencialmente el peso del traje de protección.

5 Para lograr las propiedades descritas, según la tabla 1 los elementos por separado pueden combinarse de tal manera que se cubra un determinado intervalo de energías o que resulte un transcurso de la atenuación lo más uniforme posible durante un intervalo de energías mayor.

10 Se constató de manera sorprendente que en la utilización de los elementos de sus compuestos adicionales anteriormente mencionados, en el caso del material alternativo al plomo aparece una pendiente mayor a la proporcional del efecto protector, preferiblemente cuando la proporción en peso del material alternativo al plomo asciende a entre el 20% y el 40%.

15 En otra forma de realización preferida de la invención, el material alternativo al plomo se caracteriza porque comprende adicionalmente hasta el 40% en peso de uno o varios de los siguientes elementos Ta, Hf, Lu, Yb, Tm, Th, U y/o sus compuestos.

20 En el caso de los metales Er, Ho, Dy, Tb, Gd, Eu, Sm, La, Ce, Nd, Ba, I, Ta, Hf, Lu, Yb, Tm, Th, U que pueden utilizarse adicionalmente en el material alternativo al plomo también pueden utilizarse metales y/o sus compuestos y/o CsI con un grado de pureza relativamente bajo, como se producen como productos de desecho.

25 En DIN EN 61331-3 no se permite una desviación del equivalente de plomo nominal hacia abajo. Solamente la versión alemana de la norma permite una excepción, concretamente una desviación del 10% del equivalente de plomo nominal. Por estos motivos se aspira a un transcurso lo más plano posible del equivalente de plomo respecto a la energía en un material alternativo al plomo.

30 Un descenso del equivalente de plomo por debajo del equivalente de plomo nominal o por debajo del límite de tolerancia inferior significa que el material de protección radiológica no puede utilizarse a las tensiones del tubo en cuestión ya que el efecto de blindaje es demasiado pequeño. En este caso debe aumentarse alternativamente el peso por unidad de superficie del material alternativo al plomo hasta tal punto que se cumplan las tolerancias permitidas de DIN EN 61331-3. Sin embargo, se considera desventajoso un aumento del peso por unidad de superficie.

Otra posibilidad consiste en limitar el intervalo de aplicación en vista de la energía o la tensión del tubo.

35 Por tanto, otro fin de la presente invención fue seleccionar elementos o sus compuestos tal que tenga lugar una disminución lo más pequeña posible del equivalente de plomo en el intervalo de aprovechamiento de energía deseado, considerando la accesibilidad a los elementos respectivos o sus compuestos.

40 La eficacia relativa N_{rei} como aumento del equivalente de plomo (EPb) referida a una ocupación de masa normalizada de $0,1 \text{ kg/m}^2$ se determinó en una serie de materiales en series de experimentos y se resume en la tabla 2 de a continuación. Reproduce las propiedades de atenuación de los elementos por separado incluso más claramente que los coeficientes de atenuación másicos anteriormente descritos ya que ahora se incorpora la absorción en el intervalo inmediato a los bordes de absorción respectivos.

TABLA 2

Material	N_{rei} Incremento medio de EPb referido a $0,1 \text{ kg/m}^2$ (rel. a Pb)				Pendiente de EPb de 60 a 80 kV referida a $0,1 \text{ kg/m}^2$	Grupo
	60-90 kV	60-125 kV	100-125 kV	125- 150 kV		
Sn	1,64	1,30	0,96	0,80	-0,005	A
Bi	1,41	1,27	1,13	1,17	-0,005	A
W	0,91	1,07	1,25	1,07	+0,000	A
Gd	1,85	2,05	2,27	1,56	+0,007	B
Er	1,20	1,45	1,70	1,36	+0,009	B

ES 2 286 663 T3

En este caso se muestra de manera sorprendente que los elementos o sus compuestos pueden clasificarse del siguiente modo:

5 Grupo A: Materiales con eficacia relativamente baja con valores de $N_{rei} < 1,2 - 1,6$ mm de EPb por $0,1 \text{ kg/m}^2$ y una pendiente pequeña o negativa de 60-80 kV. Entre estos elementos o sus compuestos figuran Sn, Bi y W.

10 Grupo B: Materiales con eficacia relativamente alta con $N_{rei} \geq 1,3$ mm de EPb por $0,1 \text{ kg/m}^2$ y una alta pendiente de 60-80 kV.

Por tanto, en una forma de realización con especial preferencia de la invención, el intervalo de energías de 60-140 kV se divide correspondientemente a las aplicaciones más frecuentes de la radiación de rayos X en varios intervalos que en parte se solapan:

15 1. *Intervalo de energías de 60-90 kV*

En este intervalo de energías tienen lugar principalmente aplicaciones odontológicas de la técnica de absorción individual y la técnica en capas Panorama.

20 2. *Intervalo de energías de 60-125 kV*

En este intervalo de energías están los reconocimientos radiológicos y las intervenciones radiológicas más frecuentes, como angiografía, tomografía computarizada, reconocimientos del catéter cardíaco, radiología intervencionista, técnica con rayos X duros para el tórax.

25 3. *Intervalo de energías de 100-125 kV*

En este intervalo de energías se encuentran la mayoría de los tomógrafos computarizados.

30 4. *Intervalo de energías de 125-150 kV*

Éste es un intervalo de energías para aplicaciones especiales, como tomógrafos computarizados especiales, mediciones de la densidad ósea, técnica especial con rayos X duros para el tórax y diagnóstico por medicina nuclear.

35 El fabricante debe marcar correspondientemente el traje de protección sin plomo, que sólo pueda utilizarse en un intervalo de energías determinado.

En una forma de realización del material alternativo al plomo para fines de protección radiológica en el intervalo de energías de un tubo de rayos X con una tensión de 60-90 kV, el material alternativo al plomo para equivalentes de plomo totales nominales de 0,25-0,6 mm se caracteriza porque comprende 12-22% en peso de material de matriz, 49-65% en peso de Sn o compuestos de Sn, 0-20% en peso de W o compuestos de W, 0-20% en peso de Bi o compuestos de Bi y 2-35% en peso de uno o varios de los elementos Gd, Eu, Sm, La, Ce, Nd, Cs, Ba, I, Pr y/o sus compuestos y/o CsI, en el que el W o el compuesto de W no asciende a 0. El intervalo de energías es preferiblemente el de un tubo de rayos X de un aparato dental de rayos X.

45 En una forma de realización especial de la presente invención, el material alternativo al plomo comprende 2-25% en peso de I, Cs, Ba, La, Ce, Pr y/o Nd y/o sus compuestos y/o CsI.

50 De la tabla 2 se mostró en el intervalo de energías relativamente estrecho que de los elementos del grupo A el Sn es el más eficaz. Del grupo B se prefiere Gd, pero en el que el CsI también condujo a un material alternativo al plomo con muy buenas propiedades.

Intervalo de energías de 60-125 kV (intervalo de rayos X general)

55 De la tabla 2 pueden seleccionarse de manera ventajosa, por ejemplo, elementos con pendiente baja y alta del equivalente de plomo de tal manera que los transcurros del equivalente de plomo permanecen lo más planos posibles durante todo el intervalo. A este respecto no puede evitarse físicamente una cierta sobreelevación a 80 y 100 kV.

60 Por tanto, de manera óptima pueden combinarse uno o varios elementos o sus compuestos del grupo A con uno o varios elementos o sus compuestos del grupo B, teniendo lugar la selección según la eficacia del blindaje, según la accesibilidad al elemento respectivo o su compuesto y según un transcurso lo más constante posible del equivalente de plomo.

65 En este caso se produce una dependencia de la proporción de los elementos de A o sus compuestos de cualquiera de los elementos B o sus compuestos. Así, en el caso de un aumento de la proporción de un elemento de B también se aumenta claramente la proporción en peso relativa de un elemento de A con comportamiento de energía opuesto para mantener lo más plano posible el transcurso del equivalente de plomo respecto a la energía.

ES 2 286 663 T3

Por ejemplo, a una proporción de más del 20% en peso de elementos de B o sus compuestos, la proporción de Sn o Bi debería ascender a más del 40% en peso para garantizar una pequeña dependencia de la energía.

Intervalo de energías de 100-140 kV

5 Este es el intervalo de energías para la mayoría de los tomógrafos computarizados modernos.

10 En una forma de realización con especial preferencia de la invención, el material alternativo al plomo para fines de protección radiológica en el intervalo de energías de un tubo de rayos X con una tensión de 100-140 kV se caracteriza porque el material alternativo al plomo para equivalentes de plomo totales nominales de 0,25-0,6 mm comprende 12-22% en peso de material de matriz, 40-73% en peso de Bi y/o W o sus compuestos (en el que el W siempre está presente) y 5-38% en peso de uno o varios de los siguientes elementos Gd, Eu, Er, Hf y/o sus compuestos.

15 Pueden lograrse altos efectos protectores o bajos pesos por unidad de superficie mediante la utilización de los elementos o sus compuestos que desarrollan su mayor efecto de blindaje especialmente en este pequeño intervalo de energías. Debido a motivos de accesibilidad debería combinarse una mayor proporción de los elementos o sus compuestos del grupo A con una menor proporción de los elementos o sus compuestos del grupo B, no siendo ahora tan esencial un paso de energía plano del equivalente de plomo debido a la ventana de energía relativamente pequeña.

Intervalo de energías de 125-150 kV

20 Este intervalo se refiere a aplicaciones especiales en la radiología y la medicina nuclear. En este intervalo no tiene prioridad la optimización del peso por unidad de superficie del delantal de protección radiológica ya que ahora el traje de protección sólo se lleva generalmente durante un corto tiempo o se utilizan pantallas fijas para la protección contra las radiaciones.

La elección de los elementos o sus compuestos tiene lugar según los criterios anteriormente mencionados. Gd y Er en combinación con Bi proporcionan resultados muy buenos. El efecto de W es demasiado bajo en este intervalo.

30 Por tanto, resumidamente puede constatarse que la composición de sustancias de protección para intervalos de energías por separado puede optimizarse de manera apropiada mediante disociación correspondientemente a las aplicaciones de rayos X que se producen más frecuentemente.

35 En otra forma de realización preferida de la invención, el material alternativo al plomo presenta una estructura de al menos dos capas protectoras separadas o unidas entre sí de diferente composición, en el que al menos en una capa al menos el 50% del peso total está compuesto sólo por un elemento del grupo Sn, W y Bi o sus compuestos.

40 El material alternativo al plomo presenta especialmente una estructura de al menos dos capas protectoras separadas o unidas entre sí de diferente composición, en el que al menos en una capa al menos el 50% del peso total está compuesto sólo por al menos el 40% en peso de Sn o sus compuestos y al menos el 10% en peso de I, Cs, Ba, La, Ce, Pr y/o Nd y/o sus compuestos y/o CsI. Especialmente ventajoso es una capa que comprende del 40 al 50% en peso de Sn y del 10 al 20% en peso de cerio.

45 En otra forma de realización preferida de la invención, el material alternativo al plomo se caracteriza porque comprende una estructura de al menos dos capas protectoras separadas o unidas entre sí de diferente composición, en el que la(s) capa(s) protectora(s) alejada(s) del cuerpo comprende(n) principalmente los elementos o sus compuestos con mayor rendimiento de fluorescencia de rayos X y la(s) capa(s) protectora(s) próxima(s) al cuerpo los elementos o sus compuestos con menor rendimiento de fluorescencia de rayos X.

50 En la irradiación de materiales con radiación de rayos X se excita radiación de rayos X característica como radiación de fluorescencia. El rendimiento de fluorescencia depende del número atómico. Esta proporción de fluorescencia conduce a una exposición adicional a las radiaciones de la piel y los órganos que se encuentran inmediatamente debajo. A partir de mediciones en el traje de protección se determinó que, especialmente los elementos con números atómicos más pequeños, por tanto en el caso presente especialmente Sn, fluorescen de manera especialmente intensa. En una estructura en capas del material de protección radiológica puede tener lugar de manera ventajosa una estratificación según elementos de tal manera que los elementos con el menor rendimiento de fluorescencia están en el lado de la piel.

55 En la siguiente tabla 3 se representa la proporción de fluorescencia, también denominada factor de incremento, de materiales de protección habituales en el comercio sin plomo (material B) en comparación con un material construido en forma de capas según el principio descrito en el presente documento (material A). Como es evidente, el factor de incremento puede alcanzar valores de hasta 1,42. Es decir, en este caso la piel está el 42% más cargada por el componente de fluorescencia.

65

ES 2 286 663 T3

TABLA 3

	kV	Material A	Material B
5	80	1,15	1,42
	90	1,14	1,35
10	100	1,14	1,32
	110	1,16	1,36

15 En otra forma de realización con especial preferencia de la invención, el material alternativo al plomo se caracteriza porque presenta una estructura de capas protectoras de diferente composición.

20 El material alternativo al plomo puede comprender una estructura de al menos dos capas protectoras separadas o unidas entre sí de diferente composición, en el que la(s) capa(s) protectora(s) alejada(s) del cuerpo comprende(n) principalmente los elementos de menor número atómico o sus compuestos y la(s) capa(s) protectora(s) próxima(s) al cuerpo principalmente los elementos de mayor número atómico o sus compuestos.

25 El material alternativo al plomo también puede presentar una estructura de al menos tres capas protectoras separadas o unidas entre sí de diferente composición, en el que la(s) capa(s) protectora(s) alejada(s) del cuerpo y la(s) capa(s) protectora(s) próxima(s) al cuerpo comprenden principalmente los elementos de mayores números atómicos o sus compuestos y en el medio está dispuesta al menos una capa protectora con principalmente los elementos de menores números atómicos.

30 Por tanto, por ejemplo, en el exterior se encuentra a ambos lados una capa barrera de un material de mayores números atómicos, como por ejemplo bismuto o wolframio. Entre ellas está una capa o están capas de un material con menor número atómico. La radiación de fluorescencia allí formada también se blindada eficazmente hacia ambos lados y no puede salir hacia fuera.

35 Alternativamente a esto también puede preverse una estructura de capas de al menos una capa de polvo compactada, altamente concéntrica, de una mezcla de las sustancias de protección anteriormente mencionadas y al menos dos capas de soporte a ambos lados de la capa de polvo. La capa de polvo contiene el menos material de matriz posible. Las capas de soporte pueden estar compuestas de material de matriz. Materiales adecuados son, por ejemplo, polímeros como látex o elastómeros. Las capas de soporte aumentan la estabilidad mecánica, mientras que el relleno concentrado mejora el efecto de blindaje de la radiación. La figura 4 muestra esta estructura de capas con una capa 2 de sustancias de protección altamente compactada como núcleo y las capas 1 de soporte situadas en el exterior.

40 El material alternativo al plomo también puede estar caracterizado porque una capa débilmente radiactiva está intercalada entre dos capas protectoras no radiactivas separadas o unidas con la capa radiactiva.

45 Como elementos o sus compuestos del grupo B para blindar la radiación de alta energía también pueden utilizarse los actínidos torio o uranio, este último, por ejemplo, como uranio enriquecido. Poseen un alto efecto de blindaje en el intervalo de energías de 125-150 kV, pero por sí mismos son débilmente radiactivos.

50 El efecto de la radiación intrínseca puede atenuarse mediante la intercalación de la capa radiactiva entre dos capas no activas de Bi. La proporción de la exposición intrínseca a torio o uranio debería ser baja en la mayoría de los casos y por tanto despreciable. Ahora debe tener lugar una consideración de las ventajas que debe comparar las ventajas que se producen por la eliminación del plomo y por el mayor efecto protector con la baja exposición intrínseca.

55 En otra forma de realización preferida de la invención, el material alternativo al plomo se caracteriza porque los metales o compuestos metálicos están granulados y sus tamaños de grano presentan un percentil 50 según la siguiente fórmula,

$$D_{50} = \frac{d \cdot p}{10} \text{ mm}$$

60 en la que D_{50} significa el percentil 50 de la distribución de tamaños de grano, d el espesor de capa en mm y p la proporción en peso del componente de material respectivo en el peso total y el percentil 90 de la distribución de tamaños de grano es $D_{90} \leq 2 \cdot D_{50}$.

65 En las mediciones de los equivalentes de plomo en capas protectoras que están compuestas por polvos metálicos o polvos de compuestos metálicos se comprobó de manera sorprendente que la permeabilidad a la radiación de la capa compuesta por sustancias granuladas es mayor en comparación con una capa de láminas a igual ocupación de

ES 2 286 663 T3

masa. Esto se refiere principalmente al intervalo de energías inferior de 60-80 kV. En el caso de energías más altas, las diferencias de permeabilidad local, es decir, el contraste radiológico, siguen disminuyendo.

Por ejemplo, a una proporción de Sn del 30% = 0,3 y un espesor de capa de 0,4 mm resulta

$$D_{50} = 0,4 \text{ mm} \cdot 0,3 = 0,12 \text{ mm} = 12 \mu\text{m}$$

Además, el percentil 90 de la distribución de tamaños de grano no debería ser mayor a $2 \cdot D_{50} = 24 \mu\text{m}$.

Por tanto, los materiales con baja proporción en peso también deben poseer un pequeño tamaño de grano, es decir, estar muy finamente distribuidos para desarrollar un efecto protector óptimo.

Con el aprovechamiento de este efecto todavía puede reducirse adicionalmente el peso de un delantal de protección radiológica.

El material según la invención puede usarse ventajosamente, por ejemplo, para guantes de protección, protecciones para pacientes, protección de las gónadas, protección de los ovarios, pantallas de protección dental, protección fija de la parte inferior del cuerpo, montajes para mesas, paredes de protección radiológica o cortinas de protección radiológica fijas o móviles.

A continuación se explicará más detalladamente la invención mediante ejemplos.

Ejemplo 1

La figura 1 muestra el material alternativo al plomo según la invención con 22% en peso de estaño, 27% en peso de wolframio, 4% en peso de erbio y 15% en peso de material de matriz. Este material alternativo al plomo se denomina 2 en la figura 1. Con 1 se denomina un material habitual en el mercado de la composición 65% en peso de antimonio, 20% en peso de wolframio y 15% en peso de material de matriz.

La figura 1 muestra una comparación de pesos de los materiales alternativos al plomo para un equivalente de plomo nominal de 0,5 mm.

De la figura 1 es evidente que el peso por unidad de superficie necesario para alcanzar un equivalente de plomo nominal de 0,5 mm entre 100 y 140 kV en el material según la invención sólo aumenta aproximadamente el 7%, mientras que el aumento en el material de comparación es considerablemente mayor.

Ejemplo 2

La figura 2 muestra el material alternativo al plomo según la invención con 20% en peso de estaño, 36% en peso de wolframio, 29% en peso bismuto y 15% en peso de material de matriz. Este material alternativo al plomo se denomina 2 en la figura 2. Con 1 se denomina un material habitual en el mercado de la composición 70% en peso de estaño, 10% en peso bario y 20% en peso de material de matriz.

La figura 2 muestra una comparación de pesos de los materiales alternativos al plomo para un equivalente de plomo nominal de 0,5 mm.

De la figura 2 es evidente que el peso por unidad de superficie necesario para alcanzar un equivalente de plomo nominal de 0,5 mm entre 100 y 140 kV en un material según la invención sólo aumenta aproximadamente el 9%, mientras que el aumento en el material de comparación asciende a aproximadamente el 60%.

Ejemplo 3

Delantal ligero de protección radiológica sin plomo para el campo dental de equivalente de plomo Pb nominal de 0,5 mm a 60-90 kV.

Se fabricó un delantal de protección radiológica sin plomo del 59% en peso de Sn, 24% en peso de Gd, 1% en peso de W y 16% en peso de material de matriz.

El efecto de la protección radiológica se correspondió con el de un delantal de plomo correspondiente a un peso por unidad de superficie reducido de aproximadamente el 35% de sólo 4,4 kg/m².

Ejemplo 4

Delantal ligero de protección radiológica sin plomo para el intervalo de aplicación de 60-125 kV.

Se fabricó un delantal de protección radiológica del 50% en peso de Sn, 11% en peso de W, 23% en peso de Gd y 16% en peso de material de matriz.

ES 2 286 663 T3

En este caso resultaron para un equivalente de plomo nominal de 0,5 mm de plomo un peso por unidad de superficie de 4,5 kg/m², para un equivalente de plomo nominal de 0,35 de mm plomo un peso por unidad de superficie de 3,3 kg/m² y un equivalente de plomo nominal de 0,25 mm de plomo un peso por unidad de superficie de 2,4 kg/m².

5 Ejemplo 5

Delantal ligero sin plomo contra las radiaciones para la tomografía computarizada.

Se fabricó un delantal de protección radiológica del 40% en peso de Bi, 10% en peso de W, 34% en peso de Gd y 10% en peso de material de matriz.

Resultó un peso por unidad de superficie sorprendentemente bajo de equivalente de plomo nominal de 0,5 mm de sólo 4,6 kg/m².

15 Ejemplo 6

La figura 3 muestra los pesos relativos calculados por unidad de superficie del traje de protección según la invención con equivalentes de plomo nominales de 0,5 mm según los ejemplos 3, 4 y 5 en comparación con un delantal de plomo con equivalente de plomo de 0,5 mm. De la representación es evidente que los delantales de protección para aplicación dental, rayos X en general y tomografía computarizada (TC) presentan respectivamente el menor peso por unidad de superficie en los intervalos de energías previstos.

Si el usuario trabaja a tensiones del tubo de 80-100 kV, el equivalente de plomo está además aproximadamente el 20% por encima del valor nominal de 0,5 mm de Pb de un delantal de plomo correspondiente. Esto significa una alta protección radiológica adicional.

Ejemplo 7

Delantal ligero sin plomo en el intervalo de energías de 60 a 120 kV con estructura de dos capas.

La proporción de matriz asciende al 15% en peso.

Se eligió la siguiente composición de las capas de material de sustancias de protección:

Capa	Elemento/compuesto	Peso del material (kg/m ²)
Capa de fluorescencia (externa)	Sn	1,20
	Gd (óxido)	0,72
	Cerio (óxido)	0,48
Capa barrera (interna)	Bi	1,44
	W	0,48
	Gd (óxido)	0,48

Resultó un bajo peso por unidad de superficie de sólo 4,8 kg/m² para un equivalente de plomo de 0,5 mm.

ES 2 286 663 T3

REIVINDICACIONES

5 1. Material alternativo al plomo para fines de protección radiológica en el intervalo de energías de un tubo de rayos X con una tensión de 60-140 kV, comprendiendo el material alternativo al plomo para equivalentes de plomo totales nominales de 0,25-2,0 mm

12-22% en peso de material de matriz,

10 0-75% en peso de Sn o compuestos de Sn,

0-73% en peso de W o compuestos de W,

0-80% en peso de Bi o compuestos de Bi y

15 en el que como mucho uno de los constituyentes asciende al 0% en peso, no tratándose en este constituyente de W o el compuesto de W.

20 2. Material alternativo al plomo según la reivindicación 1, **caracterizado** porque el material alternativo al plomo comprende

12-22% en peso de material de matriz,

0-39% en peso de Sn o compuestos de Sn,

25 0-60% en peso de W o compuestos de W y

0-60% en peso de Bi o compuestos de Bi y

30 en el que como mucho uno de los constituyentes asciende al 0% en peso.

3. Material alternativo al plomo según la reivindicación 2, **caracterizado** porque el material alternativo al plomo comprende

35 12-22% en peso de material de matriz,

0-39% en peso de Sn o compuestos de Sn,

16-60% en peso de W o compuestos de W y

40 16-60% en peso de Bi o compuestos de Bi.

4. Material alternativo al plomo según la reivindicación 1, **caracterizado** porque el material alternativo al plomo comprende

45 12-22% en peso de material de matriz,

40-60% en peso de Sn o compuestos de Sn,

50 7-15% en peso de W o compuestos de W y

7-15% en peso de Bi o compuestos de Bi.

55 5. Material alternativo al plomo según una de las reivindicaciones 1 - 4, **caracterizado** porque el material alternativo al plomo comprende adicionalmente hasta el 40% en peso de uno o varios de los siguientes elementos Er, Ho, Dy, Tb, Gd, Eu, Sm, La, Ce, Nd, Cs, Ba, I, Pr y/o sus compuestos y/o CsI.

60 6. Material alternativo al plomo según la reivindicación 5, **caracterizado** porque el material alternativo al plomo comprende adicionalmente hasta el 20% en peso de uno o varios de los siguientes elementos Er, Ho, Dy, Tb, Gd, Eu, Sm, La, Ce, Nd, Cs, Ba, I, Pr y/o sus compuestos y/o CsI.

7. Material alternativo al plomo según la reivindicación 6, **caracterizado** porque el material alternativo al plomo comprende adicionalmente hasta el 8% en peso de uno o varios de los siguientes elementos Er, Ho, Dy, Tb, Gd, Eu, Sm, La, Ce, Nd, Cs, Ba, I, Pr y/o sus compuestos y/o CsI.

65 8. Material alternativo al plomo según una de las reivindicaciones 1 - 7, **caracterizado** porque el material alternativo al plomo comprende adicionalmente el 40% en peso de uno o varios de los siguientes elementos Ta, Hf, Lu, Yb, Tm, Th, U y/o sus compuestos.

ES 2 286 663 T3

9. Material alternativo al plomo según la reivindicación 8, **caracterizado** porque el material alternativo al plomo comprende adicionalmente hasta el 20% en peso de uno o varios de los siguientes elementos Ta, Hf, Lu, Yb, Tm, Th, U y/o sus compuestos.
- 5 10. Material alternativo al plomo según la reivindicación 9, **caracterizado** porque el material alternativo al plomo comprende adicionalmente hasta el 8% en peso de uno o varios de los siguientes elementos Ta, Hf, Lu, Yb, Tm, Th, U y/o sus compuestos.
- 10 11. Material alternativo al plomo para fines de protección radiológica en el intervalo de energías de un tubo de rayos X con una tensión de 60-90 kV según una de las reivindicaciones 5 - 10, **caracterizado** porque el material alternativo al plomo para equivalentes de plomo totales nominales de 0,25-0,6 mm comprende
- 12-22% en peso de material de matriz,
- 15 49-65% en peso de Sn o compuestos de Sn,
- 0-20% en peso de W o compuestos de W,
- 0-20% en peso de Bi o compuestos de Bi y
- 20 2-35% en peso de uno o varios de los elementos Gd, Eu, Sm, La, Ce, Nd, Cs, Ba, I, Pr y/o sus compuestos y/o CsI.
12. Material alternativo al plomo según la reivindicación 11, **caracterizado** porque el material alternativo al plomo comprende 2-25% en peso de I, Cs, Ba, La, Ce, Pr y/o Nd y/o sus compuestos y/o CsI.
- 25 13. Material alternativo al plomo para fines de protección radiológica en el intervalo de energías de un tubo de rayos X con una tensión de 100-140 kV según una de las reivindicaciones 5 - 10, **caracterizado** porque el material alternativo al plomo para equivalentes de plomo totales nominales de 0,25-0,6 mm comprende
- 30 12-22% en peso de material de matriz,
- 40-73% en peso de Bi y/o W o sus compuestos y
- 5-38% en peso de uno o varios de los siguientes elementos Gd, Eu, Er, Hf y/o sus compuestos.
- 35 14. Material alternativo al plomo según una de las reivindicaciones 1 - 13, **caracterizado** porque comprende una estructura de capas protectoras de diferente composición.
- 40 15. Material alternativo al plomo según la reivindicación 14, **caracterizado** porque comprende una estructura de al menos dos capas protectoras separadas o unidas entre sí de diferente composición, en el que la(s) capa(s) protectora(s) alejada(s) del cuerpo comprende(n) principalmente los elementos de menor número atómico o sus compuestos y la(s) capa(s) protectora(s) próxima(s) al cuerpo principalmente los elementos de mayor número atómico o sus compuestos.
- 45 16. Material alternativo al plomo según la reivindicación 14 ó 15, **caracterizado** porque comprende una estructura de al menos dos capas protectoras separadas o unidas entre sí de diferente composición, en el que al menos en una capa al menos el 50% del peso total está compuesto por sólo un elemento del grupo Sn, W o Bi o sus compuestos.
- 50 17. Material alternativo al plomo según la reivindicación 14 ó 15, **caracterizado** porque comprende una estructura de al menos dos capas protectoras separadas o unidas entre sí de diferente composición, en el que al menos en una capa al menos 50% del peso total está compuesto por sólo al menos el 40% en peso de Sn o sus compuestos y al menos el 10% en peso de I, Cs, Ba, La, Ce, Pr y/o Nd y/o sus compuestos y/o CsI.
- 55 18. Material alternativo al plomo según la reivindicación 14, **caracterizado** porque comprende una estructura de al menos dos capas protectoras separadas o unidas entre sí de diferente composición, en el que la(s) capa(s) protectora(s) alejada(s) del cuerpo comprende(n) principalmente los elementos o sus compuestos con mayor rendimiento de fluorescencia de rayos X y la(s) capa(s) protectora(s) próxima(s) al cuerpo los elementos o sus compuestos con menor rendimiento de fluorescencia de rayos X.
- 60 19. Material alternativo al plomo según una de las reivindicaciones 14 a 18, **caracterizado** porque comprende una estructura de al menos tres capas protectoras separadas o unidas entre sí de diferente composición, en el que la(s) capa(s) protectora(s) alejada(s) del cuerpo y la(s) capa(s) protectora(s) próxima(s) al cuerpo comprenden principalmente los elementos de mayor número atómico o sus compuestos y en el medio está dispuesta al menos una capa protectora con principalmente los elementos de menor número atómico.
- 65 20. Material alternativo al plomo según una de las reivindicaciones 14 - 20, **caracterizado** porque una capa débilmente radiactiva está intercalada entre dos capas protectoras no radiactivas separadas o unidas con la capa radiactiva.

ES 2 286 663 T3

21. Material alternativo al plomo según una de las reivindicaciones 1 - 20, **caracterizado** porque los metales o compuestos metálicos están granulados y sus tamaños de grano presentan un percentil 50 según la siguiente fórmula,

5

$$D_{50} = \frac{d \cdot p}{10} \text{ mm}$$

en la que

10 D_{50} significa el percentil 50 de la distribución de tamaños de grano,

d el espesor de capa en mm y

p la proporción en peso del componente de material respectivo en el peso total

15 y el percentil 90 de la distribución de tamaños de grano es $D_{90} \leq 2 \cdot D_{50}$.

22. Delantal de protección radiológica de material alternativo al plomo según una de las reivindicaciones 1 - 21.

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Fig. 1

1. Material habitual en el mercado (65% de Sb, 20% de W, 15% de matriz)
2. Material según la invención (22% de Sn, 27% de W, 32% de Bi, 4% de Er, 15% de matriz)

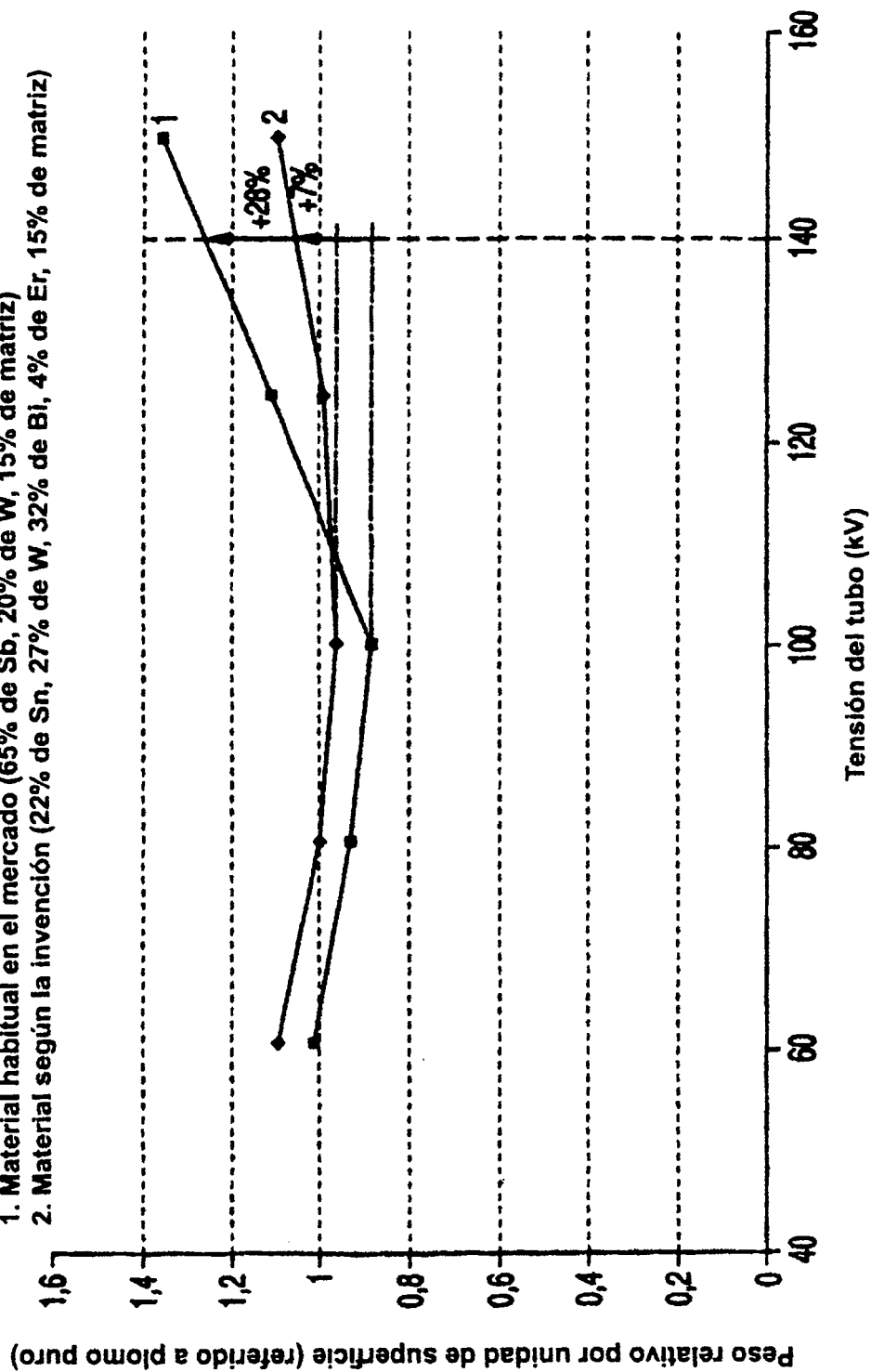


Fig. 2

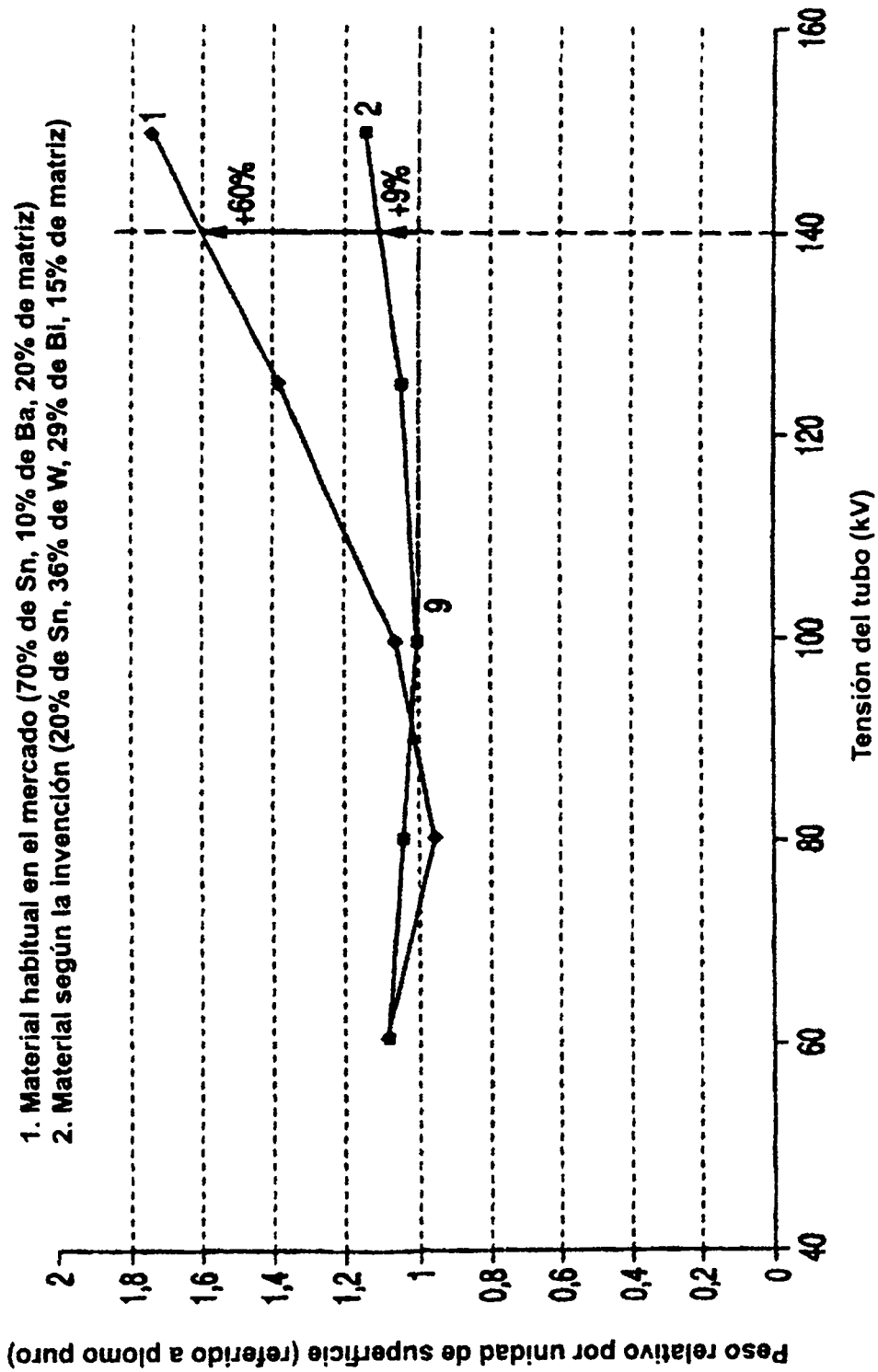
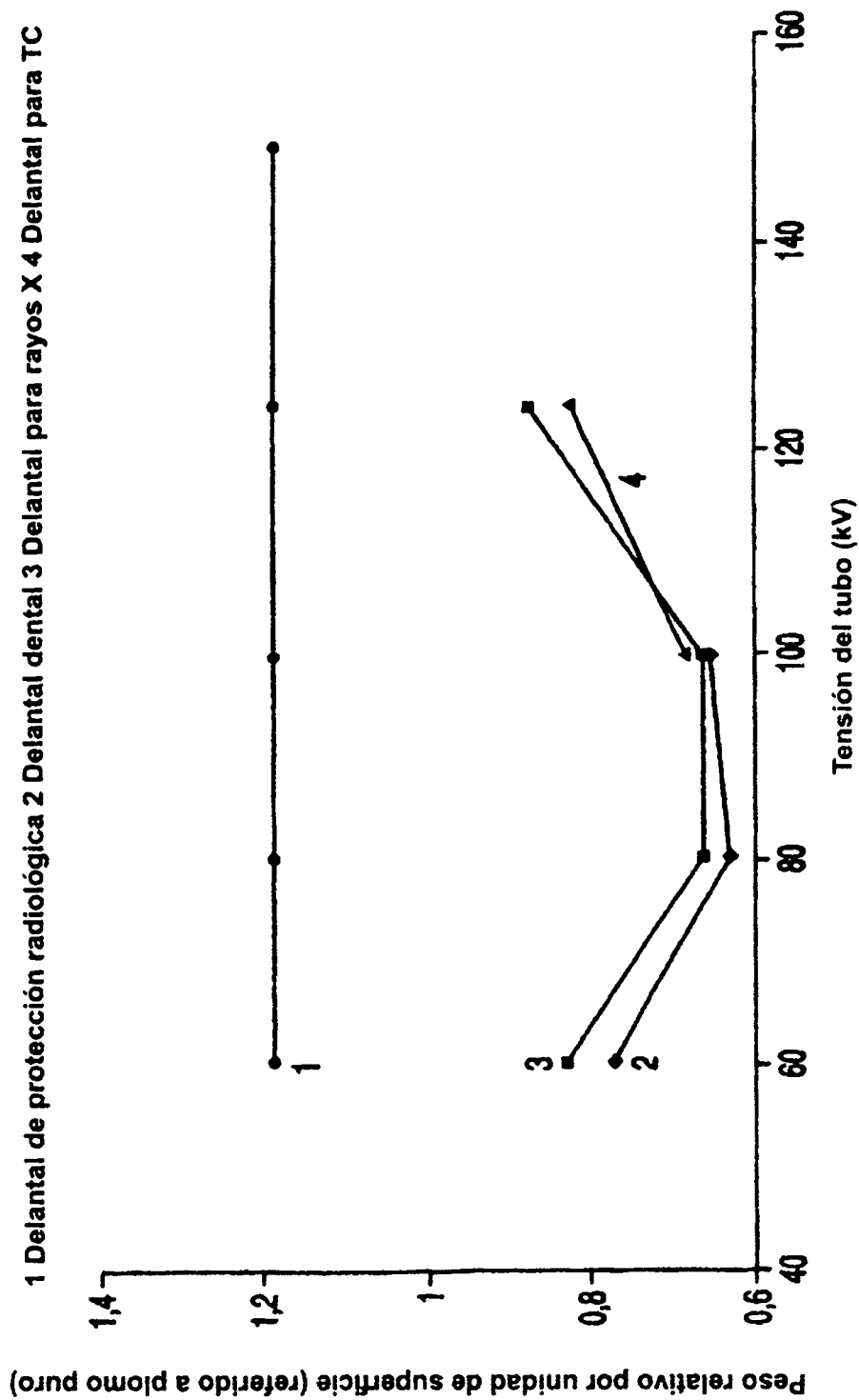


Fig. 3



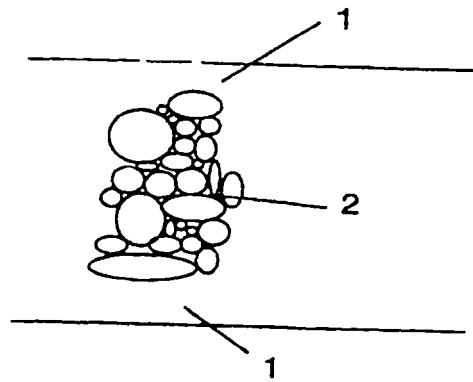


Fig. 4