

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 472 458**

51 Int. Cl.:

G21K 1/02 (2006.01)

H05G 1/02 (2006.01)

G01N 23/04 (2006.01)

G21K 1/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.02.2011 E 11712706 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.05.2014 EP 2553685**

54 Título: **Sistema y método de toma de imágenes mediante rayos X que comprende un tubo de pequeño diámetro**

30 Prioridad:

29.03.2010 US 749409

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

01.07.2014

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-2016, US**

72 Inventor/es:

**TOH, CHIN H. y
BIANCHI, MAURICE PETER**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 472 458 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema y método de toma de imágenes mediante rayos X que comprende un tubo de pequeño diámetro

5 **CAMPO TÉCNICO**

La presente invención pertenece al campo de la toma de imágenes mediante rayos X y, más en particular, a las operaciones de un tubo de rayos X de pequeño diámetro.

10 **ANTECEDENTES**

10 En algunas situaciones, diferentes objetos tales como vehículos, estructuras y/o organismos vivos requieren ser inspeccionados en busca de la presencia de residuos de cuerpos extraños (FOD, foreign object debris, por sus siglas en inglés). Por ejemplo, una pieza de hardware puede ser dejada dentro de un vehículo de forma accidental durante la fabricación o el mantenimiento; uno o más parásitos pueden infestar una estructura tal como un árbol o una casa; o una pieza de equipo quirúrgico puede ser dejada dentro de un paciente de forma accidental durante una
15 operación.

En algunos casos, es importante inspeccionar el objeto para determinar si hay presencia de FOD. Una técnica utilizada para inspeccionar en objetos la presencia de FOD incluye desmontar el objeto para examinarlo visualmente en busca de FOD. Aunque el desmontaje proporciona acceso a los elementos interiores a los que de otra forma es difícil de acceder, está técnica no es siempre admisible y a menudo es difícil de llevar a cabo, requiere mucho tiempo y/o es costosa. Por ejemplo, no es admisible desguazar en partes un árbol con objeto de inspeccionar el árbol en busca de parásitos tales como escarabajos debido a que esto puede destruir el árbol. Además, puede que sea costoso y requiera mucho tiempo desmontar un vehículo tal como una aeronave para buscar diferentes FOD, sobre todo si el FOD es un organismo vivo y se está moviendo alrededor del vehículo durante la inspección.
20

25 La patente de EE.UU. n° 4.143.275 se refiere a un método de aplicación de radiación que comprende los pasos de producir rayos X de un espectro e intensidad seleccionados, y dirigir los rayos X a una posición deseada; los pasos comprenden más particularmente dirigir energía radiante de un láser sobre un objetivo para producir tales rayos X en el objetivo, y en consecuencia situar el objetivo adyacente a la posición deseada para emitir los rayos X hacia la posición deseada; o producir tales rayos X en una región alejada de la posición deseada, y canalizar los rayos X hacia la posición deseada.
30

El documento US2006133575 describe un dispositivo de rayos X y un método de tratamiento por radiación que comprende una fuente de rayos X, un colimador que incorpora óptica condicional, tal como una lente capilar para dirigir y focalizar la radiación de los rayos X, y agujas implantables. Una o más semilentes capilares situadas a lo largo del eje óptico del haz de rayos X permiten formar un foco móvil mediante la modificación de la distancia entre las semilentes. El extremo de entrada del colimador está óptica y mecánicamente conjugado con la fuente de rayos X. El extremo de salida del colimador está óptica y mecánicamente conjugado con un extremo de origen de la aguja. En su extremo de salida está una ventana transparente sobre la cual reposa una capa que sustancialmente absorbe y vuelve a emitir radiación que pasa a través de la ventana.
35 40

La patente de EE.UU. n° 2.497.543 se refiere a un medio para desviar rayos X a un condensador y así concentrar los rayos X mediante la utilización del medio.

45 La presente invención está especificada en las reivindicaciones independientes, con algunas características opcionales especificadas en las reivindicaciones dependientes de las mismas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

50 La descripción detallada está hecha con referencia a las figuras que se acompañan. En las figuras, el dígito(s) más a la izquierda de un número de referencia identifica la figura en la cual el número de referencia aparece por primera vez. Los mismos números de referencia en diferentes figuras indican elementos idénticos o similares.

La figura 1 es un diagrama esquemático de un sistema de toma de imágenes mediante rayos X a modo de ejemplo.

55 La figura 2 es un diagrama esquemático de un tubo de pequeño diámetro a modo de ejemplo.

La figura 3 es un diagrama esquemático de un colimador a modo de ejemplo.

La figura 4 es un diagrama de flujo de un proceso de inspección de un objeto a modo de ejemplo.

La figura 5 es un diagrama esquemático de un tubo de pequeño diámetro que tiene un codo, a modo de ejemplo.

60 La figura 6 es un diagrama de flujo de un proceso de preparación a modo de ejemplo de un sistema de toma de imágenes mediante rayos X para la toma de imágenes.

La figura 7 es una vista lateral en alzado de una aeronave a modo de ejemplo.

65

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Compendio

La toma de imágenes mediante rayos X se puede utilizar de forma ventajosa para inspeccionar en diferentes objetos la presencia de residuos de cuerpos extraños (FOD). En la presente memoria se describen técnicas de implementación de sistemas de toma de imágenes mediante rayos X para la detección de FOD. Algunas técnicas incluyen la transmisión de rayos X a través de un tubo de pequeño diámetro. Tal y como se explica en la presente memoria, el tubo de pequeño diámetro puede ser cualquier tubo que transmita rayos X que tengan una frecuencia de al menos 10^{16} Hz. Por ejemplo, el tubo de pequeño diámetro puede transmitir rayos X que estén comprendidos entre 10^{16} y 10^{19} Hz. Un primer filtro del tubo de pequeño diámetro puede filtrar inicialmente los rayos X mediante el paso de los rayos X a través de una pluralidad de aberturas. Un segundo filtro del tubo de pequeño diámetro puede compactar los rayos X y mover los rayos X en una dirección de flujo paralela al eje longitudinal del tubo mediante el paso de los rayos X a través de un canal. Tal y como se explica en la presente memoria, las técnicas se pueden implementar en objetos tales como vehículos, estructuras, y/o organismos vivos, los cuales incluyen, sin limitación, aeronaves, buques marítimos, naves espaciales, vehículos de motor, dispositivos mecánicos, árboles, casas, pacientes de cirugía, y otros vehículos, estructuras, y/o organismos vivos que puedan estar expuestos a FOD.

Sistema a modo de ejemplo

La figura 1 es un diagrama esquemático de un sistema de toma de imágenes mediante rayos X 100 a modo de ejemplo. En una realización, el sistema de toma de imágenes mediante rayos X 100 es un sistema de rayos X por retrodispersión. Un sistema de rayos X por retrodispersión puede ser ventajoso frente a los sistemas de transmisión de rayos X ya que un sistema de rayos X por retrodispersión puede transmitir y recibir el haz de rayos X desde un mismo lado del objeto (es decir, el operador solo necesita acceder a un lado del objeto a fin de inspeccionar el objeto). Otra ventaja de la retrodispersión de rayos X es que normalmente proyecta menos radiación que un sistema de transmisión de rayos X y por tanto a menudo requiere un área de exclusión más pequeña.

En el sistema de toma de imágenes mediante rayos X 100 a modo de ejemplo de la figura 1, una fuente de alimentación 102 suministra energía a un generador de rayos X 104. El generador de rayos X 104 puede accionarse para generar rayos X 106. El generador de rayos X 104 puede utilizar cualquier técnica conocida en el sector para generar los rayos X. Por ejemplo, el generador de rayos X 104 puede ser un tubo de vacío e incluir un cátodo para emitir electrones dentro del tubo de vacío. Un ánodo recoge los electrones emitidos desde el cátodo para establecer una corriente eléctrica a través del generador de rayos X 104. Para generar los rayos X, los electrones se evaporan desde el cátodo y chocan contra el ánodo bajo un campo eléctrico de alta energía. Si los electrones que chocan tienen suficiente energía, pueden extraer un átomo de una capa interior de los átomos metálicos del objetivo. Cuando los electrones de niveles superiores caen a niveles inferiores para rellenar un hueco creado cuando el electrón es extraído de la capa interior, se emiten fotones de rayos X de energías concretas.

Los rayos X 106 generados pasan desde el generador de rayos X 104 a un tubo de pequeño diámetro 108. El tubo de pequeño diámetro 108 incluye un colimador 110 próximo al extremo del tubo que se conecta con el generador de rayos X 104. El colimador 110 filtra y/u orienta los rayos X 106 generados según una dirección de flujo deseada. El tubo de pequeño diámetro 108 incluye además un elemento de retención extremo 112 para emitir rayos X orientados 114 hacia un objeto a inspeccionar. Los rayos X orientados 114 contactan un área de inspección del objeto a inspeccionar, lo cual permite finalmente la generación de una imagen de rayos X del área de inspección del objeto inspeccionado.

En algunos casos, el elemento de retención extremo 112 se puede diseñar para adaptarse a una aplicación específica de toma de imágenes. Por ejemplo, el elemento de retención extremo 112 puede incluir un dispositivo de visualización para visualizar una imagen de rayos X del objeto inspeccionado en tiempo real, o casi en tiempo real, según el sistema de toma de imágenes mediante rayos X 100 toma imágenes del objeto. En tales casos, el elemento de retención extremo 112 puede ser adaptado para utilizar el sistema de toma de imágenes mediante rayos X 100 como un detector manual, por ejemplo.

En algunas realizaciones, el sistema de toma de imágenes mediante rayos X 100 puede incluir un detector 116 para recibir los rayos X reflejados y/o una pantalla contra la radiación para absorber los rayos X reflejados próximos al elemento de retención extremo 112. El detector 116 y/o la pantalla contra la radiación pueden ser desmontables, de manera que se puedan montar en el sitio y almacenar fácilmente cuando no estén en uso.

El tubo de pequeño diámetro 108 reduce de forma ventajosa el peso que un operador tiene que transportar a fin de inspeccionar un objeto. Por ejemplo, mediante la separación de la pesada fuente de energía y/o el generador de rayos X del elemento de retención extremo 112 por medio del tubo de pequeño diámetro 108, el usuario del dispositivo sólo necesita trasladar el elemento de retención extremo 112 a un lugar de inspección deseado con objeto de tomar imágenes de un objeto. Además, debido a que el usuario sólo necesita orientar el elemento de retención extremo 112 hacia el objeto a inspeccionar, el sistema de toma de imágenes mediante rayos X 100 se puede utilizar para inspeccionar áreas de acceso reducido o difícil. Por ejemplo, el sistema de toma de imágenes mediante rayos X 100 se puede utilizar para inspeccionar un automóvil desde el interior del vehículo ya que un usuario sólo tiene que trasladar el elemento de retención extremo 112 y una parte del tubo de pequeño diámetro 108 al interior del automóvil. En algunos casos, el tubo de pequeño diámetro 108 es de peso ligero, de manera que un

único usuario puede trasladar el elemento de retención extremo 112 junto con una o más partes del tubo de pequeño diámetro 108 sin necesidad de ayuda mecánica o ayuda por parte de otro usuario.

5 La figura 2 es un diagrama esquemático de un elemento de tubo de pequeño diámetro 200 a modo de ejemplo. El elemento de tubo de pequeño diámetro 200 a modo de ejemplo ilustra, en una vista en sección transversal A-A, los componentes del tubo de pequeño diámetro 108 de la figura 1. En el centro del tubo de pequeño diámetro 108 está situado un tubo de transmisión de rayos X 202. El tubo de transmisión de rayos X 202 puede estar hecho de cualquier material adecuado para transmitir rayos X, tal como cobre (sin limitación). Una capa de revestimiento 204 rodea el tubo de transmisión de rayos X 202. En algunos casos, la capa de revestimiento 204 es un revestimiento de bajo índice de refracción para permitir una transmisión de los rayos X a través del tubo de pequeño diámetro 108. 10 Una capa metálica 206 rodea la capa de revestimiento 204. La capa metálica 206 puede estar hecha de un metal adecuado para bloquear rayos X, tal como plomo, tungsteno, cobre o aluminio. Una capa de revestimiento termoplástico 208 rodea la capa metálica 206 para proporcionar una protección adicional al tubo de transmisión de rayos X 202. Finalmente, una capa de cubierta de cable 210, tal como una cubierta de cable de policloruro de vinilo (PVC), rodea la capa de revestimiento termoplástico 208 para proporcionar durabilidad y flexibilidad al tubo de pequeño diámetro 108. 15

En algunos casos, la disposición en capas del elemento de tubo de pequeño diámetro 200 a modo de ejemplo es similar a la de los cables de fibra óptica utilizados en la industria de las telecomunicaciones, excepto por que el elemento de tubo de pequeño diámetro 200 a modo de ejemplo incluye el tubo de transmisión de rayos X 202 en el centro y la capa metálica 206 para contener los rayos X al pasar estos a través del tubo de pequeño diámetro 108. 20

La figura 3 es un diagrama esquemático de un elemento colimador 300 a modo de ejemplo para orientar y/o filtrar los rayos X en una dirección de flujo deseada. El elemento colimador 300 a modo de ejemplo ilustra, en una vista en sección transversal B-B, las funciones y componentes del colimador 110 de la figura 1. Los rayos X 106 generados por el generador de rayos X 104 entran en el colimador 110 a través de una primera tuerca de acoplamiento 302. Como se muestra en la figura 3, los rayos X 106 generados son proyectados desde el generador de rayos X 104 en diferentes (aleatorias) direcciones cuando entran en la primera tuerca de acoplamiento 302. 25

30 El colimador 110 incluye un primer filtro 304 para filtrar los rayos X. Después de entrar en la primera tuerca de acoplamiento 302, los rayos X 106 generados se encuentran con el primer filtro 304. El primer filtro 304 contiene una pluralidad de aberturas 306. Los rayos X 106 generados que están alineados con las aberturas 306 y son paralelos al eje longitudinal 308 del colimador 110 pasan a través del primer filtro 304. Por ejemplo, los rayos X paralelos 310 pasan a través del primer filtro 304, ya que están alineados con las aberturas 306. Los rayos X 106 generados que no estén alineados con las aberturas 306 serán bloqueados por el primer filtro 304 y no pasarán a través del tubo de pequeño diámetro 108. En algunos casos, el colimador 110 puede compartir el mismo eje longitudinal 308 con el tubo de pequeño diámetro 108. 35

40 El colimador 110 puede además incluir un segundo filtro 312 para orientar y/o filtrar adicionalmente rayos X en una dirección de flujo deseada. Los rayos X que pasan a través del primer filtro 304 (por ejemplo, los rayos X paralelos 310) se encuentran con el segundo filtro 312. El segundo filtro 312 incluye un canal 314 para hacer converger los rayos X paralelos 310 de manera que estos son compactados y se mueven en una dirección paralela al eje longitudinal 308 del colimador 110. El canal 314 puede tener forma cónica para compactar y mover los rayos X paralelos 310 en una dirección paralela al eje longitudinal 308. Por ejemplo, los rayos X convergentes 316 son paralelos y están próximos al eje longitudinal 308 del colimador 110 según salen del segundo filtro 312. Después de pasar a través del segundo filtro 312, los rayos X convergentes 316 pueden continuar a través del tubo de pequeño diámetro 108. En algunos casos, los rayos X convergentes 316 pueden pasar a través de una segunda tuerca de acoplamiento 318 según salen del colimador 110 y continúan a través del tubo de pequeño diámetro 108. 45

50 Los diferentes elementos del colimador 110, tales como la primera tuerca de acoplamiento 302, el primer filtro 304, el segundo filtro 312 y la segunda tuerca de acoplamiento 318 están hechos de un material metálico, tal como plomo, tungsteno o aluminio.

Proceso a modo de ejemplo

55 La figura 4 es un diagrama de flujo de un proceso de inspección ilustrativo de un objeto 400. El proceso 400 es llevado a cabo por el sistema de toma de imágenes mediante rayos X 100 de la figura 1.

60 En 402, el generador de rayos X 104 genera rayos X. Normalmente, los rayos X son generados mediante el bombardeo de electrones de alta velocidad sobre un blanco para producir los fotones de alta energía (es decir, luces invisibles de alta frecuencia).

Los rayos X generados pasan desde el generador de rayos X 104 al colimador 110, en donde son orientados y/o filtrados en 404. El colimador 110 utiliza uno o más filtros (por ejemplo, el primer filtro 304 y/o el segundo filtro 312) para orientar y/o filtrar los rayos X en 404. En algunos casos, un filtro circular que tiene una pluralidad de aberturas (por ejemplo, el primer filtro 304) filtra los rayos X, permitiendo que pasen a través del filtro o filtros solamente los 65

rayos X que se muevan una dirección que es paralela al eje longitudinal del colimador 110 y que estén alineados con las aberturas. En otros casos, un filtro circular que tiene un canal (por ejemplo, el segundo filtro 312) hace que converjan los rayos X de manera que los rayos X se compactan cerca del eje longitudinal del colimador 110.

5 En 406, los rayos X son transmitidos a través de un tubo de pequeño diámetro 108. En algunos casos el tubo de pequeño diámetro 108 es suficientemente largo como para permitir que un usuario sitúe y/o oriente el tubo sobre un objeto a inspeccionar para la toma de imágenes. La longitud mínima del tubo de pequeño diámetro 108 puede oscilar entre 0,6096 m y 6,096 m (entre 2 y 20 pies, 1 pie = 0,3048 m), dependiendo del lugar en que se toman las imágenes. Por ejemplo, la longitud del tubo de pequeño diámetro 108 es por lo menos de 3,048 m (10 pies) cuando se utiliza para tomar imágenes de un vehículo aéreo. En algunas realizaciones, la longitud del diámetro pequeño es por lo menos de 0,9144 m (3 pies). En algunas realizaciones, el tubo de pequeño diámetro 108 está hecho de un material flexible para permitir a un usuario doblar el tubo en una o más posiciones. Por ejemplo, el usuario puede doblar el tubo para posicionar y/o orientar el tubo sobre un objeto a inspeccionar para la toma de imágenes. Además, el usuario puede doblar el tubo durante la toma de imágenes para así tomar imágenes de múltiples partes de un objeto del que se están tomando imágenes sin desconectar o reposicionar el sistema de toma de imágenes mediante rayos X.

En 408, los rayos X son emitidos desde el tubo de pequeño diámetro 108 sobre un objeto a inspeccionar. Los rayos X emitidos son utilizados para generar una imagen en rayos X del objeto inspeccionado. Por ejemplo, los rayos X emitidos desde el tubo de pequeño diámetro 108 se reflejan en el objeto inspeccionado y son recibidos por una unidad de detección para así generar la imagen en rayos X del objeto inspeccionado.

Operación a modo de ejemplo

En algunos casos, el tubo de pequeño diámetro 108 se dobla para permitir que un operador del sistema de toma de imágenes mediante rayos X 100 mueva el tubo de pequeño diámetro hasta una posición deseada para la toma de imágenes. En las situaciones en las que el tubo de pequeño diámetro 108 es aproximadamente recto, los rayos X que viajan a través del tubo de pequeño diámetro se moverán, en general, a lo largo del eje longitudinal del tubo de pequeño diámetro. Sin embargo, si hay codos en el tubo de pequeño diámetro 108, entonces los rayos X se desvían con respecto al eje longitudinal.

La figura 5 es un tubo doblado de pequeño diámetro 500 a modo de ejemplo que muestra los rayos X tal y como son transmitidos a través del codo 502 de un tubo de pequeño diámetro 108. En algunas realizaciones, el tubo de pequeño diámetro 108 incluye una primera porción recta 504 y una segunda porción recta 506 además del codo 502. El tubo de pequeño diámetro 108 tiene un eje longitudinal 508 que continúa por el codo 502. Debido a que los rayos X normalmente pertenecen a la misma familia de ondas electromagnéticas que la luz visible, los rayos X que viajan a través del tubo de pequeño diámetro 108 cumplen con los principios que han sido establecidos para la luz visible, tal como el Principio de Reflexión Interna Total. De forma general, el Principio de Reflexión Interna Total de la óptica de fibras establece que cuando un ángulo de incidencia de luz excede de un valor crítico, la luz no puede escapar de la fibra de vidrio sino que rebota. Cuando se aplica al tubo doblado de pequeño diámetro 500 a modo de ejemplo de la figura 5, el Principio de Reflexión Interna Total establece que si el codo 502 del tubo de pequeño diámetro 108 excede de un ángulo de curvatura crítico, entonces por lo menos una parte de los rayos X será absorbida o bloqueada indeseablemente por la capa metálica 206 en vez de desplazarse a través del tubo de pequeño diámetro 108.

En la figura 5, el ángulo de curvatura, θ_g , se define por el radio de curvatura, R, del codo 502 del tubo de pequeño diámetro 108. Cuanto mayor es el ángulo de curvatura, θ_g , más suave es la curvatura del codo; del mismo modo, cuanto menor es el ángulo de curvatura, θ_g , más acusada es la curvatura del codo. Cuando los rayos X 510 anteriores al codo se encuentran con el codo 502, una parte de los rayos X 510 es absorbida/bloqueada por la capa metálica 206 del tubo de pequeño diámetro. De la misma manera, una parte de los rayos X se refleja en la capa metálica 206 y continúa viajando a través del tubo de pequeño diámetro 108, según se representa en la figura 5 por los rayos X 512 posteriores al codo. Si el ángulo de curvatura, θ_g , alcanza o excede un ángulo de curvatura crítico, $\theta_{g,crit}$, entonces la parte de rayos X absorbidos/bloqueados por la capa metálica 206 es mayor que la parte de rayos X que se refleja en la capa metálica 206 e, indeseablemente, se reduce la calidad de las imágenes generadas por el sistema de toma de imágenes mediante rayos X. En consecuencia, es importante que los ángulos de curvatura, θ_g , del tubo de pequeño diámetro sean menores que el ángulo de curvatura crítico, $\theta_{g,crit}$, durante la toma de las imágenes.

El ángulo de curvatura crítico, $\theta_{g,crit}$, está definido en la Ecuación 1.

$$\theta_{g,crit} \approx \frac{\omega_p}{\omega} \quad \text{Ecuación (1)}$$

En la Ecuación 1, ω_p denota la frecuencia de plasma objeto del tubo de transmisión de rayos X 202 según está definida en la Ecuación 2; y ω denota la frecuencia de rayos X de los rayos X que viajan a través del tubo de

transmisión de rayos X 202 (por tanto a través del tubo de pequeño diámetro 108) según está definida en la Ecuación 3.

5
$$(\omega_p)^2 \approx 1,9E^{33} \frac{(Z - 2)\rho}{A} \quad \text{Ecuación (2)}$$

En la Ecuación 2, Z denota el número atómico del tubo de transmisión de rayos X 202, ρ denota la densidad del tubo de transmisión de rayos X 202 y A denota el peso atómico del tubo de transmisión de rayos X 202.

10
$$\omega = \frac{2\pi C}{\lambda} \quad \text{Ecuación (3)}$$

En la Ecuación 3, C denota la velocidad de la luz y λ denota la longitud de onda de rayos X de los rayos X que se desplazan a través del tubo de pequeño diámetro 108.

15 Las Ecuaciones 1-3 se pueden utilizar para calcular el ángulo de curvatura crítico, $\theta_{g,crit}$, para diferentes tubos de transmisión de rayos X. Por ejemplo, la Tabla 1 resume el ángulo de curvatura crítico, $\theta_{g,crit}$, calculado para el aluminio, tungsteno y cobre sin considerar el acabado superficial del tubo de transmisión de rayos X.

20 Tabla 1: Ángulo de curvatura crítico, $\theta_{g,crit}$, para diferentes tubos de transmisión de rayos X

	Aluminio	Tungsteno	Cobre
Z	13	74	29
ρ (g/cm ³)	2,7	19,3	8,9
A	26,98	183,84	63,55
C (m/s)	3,00E+08	3,00E+08	3,00E+08
λ (m)	5,00E-10	5,00E-10	5,00E-10
ω_p^2 (rad/seg) ²	2,09E+33	1,44E+34	7,18E+33
ω_p (rad/seg)	4,57E+16	1,2E+17	8,48E+16
ω (rad/seg)	3,77E+18	3,77E+18	3,77E+18
$\theta_{g,crit}$ (grad)	0,70	1,82	1,29

En consecuencia, la Tabla 1 muestra que el aluminio, tungsteno y cobre todos parecen ser materiales viables para formar el tubo de transmisión de rayos X 202.

25 Los radios de curvatura permitidos, R, del tubo de transmisión de rayos X 202 están definidos en la Ecuación 4.

30
$$R = (\cos(\theta_{g,crit}) - 1/2) \left(\frac{d}{1 - \cos(\theta_{g,crit})} \right) \quad \text{Ecuación (4)}$$

En la Ecuación 4, d denota el diámetro del tubo de transmisión de rayos X 202.

35 Las Ecuaciones 1- 4 se pueden utilizar para calcular los radios de curvatura permitidos, R, para diferentes tubos de transmisión de rayos X. En algunos casos, el tubo de transmisión de rayos X 202 determina el radio de curvatura permitido del tubo de pequeño diámetro 108 utilizando las Ecuaciones 1- 4. La Tabla 2 resume los radios de curvatura permitidos, R, para el aluminio, tungsteno y cobre para diferentes diámetros del tubo.

Tabla 2: Radios de curvatura, R, para diferentes Tubos de Transmisión de rayos X (1 pulgada = 2,54x10⁻² m)

Diámetro del tubo (cm)		0,0127	0,0254	0,0381	0,0508	0,127
Aluminio						
	$\theta_{g,crit}$ (grad)	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
	$\cos(\theta_{g,crit})$	0,999925	0,999925	0,999925	0,999925	0,999925
	Radio de curvatura (cm)	85,0646	170,1546	255,2192	340,2838	850,7222
Tungsteno						
	$\theta_{g,crit}$ (grad)	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82
	$\cos(\theta_{g,crit})$	0,999493	0,999493	0,999493	0,999493	0,999493
	Radio de curvatura (cm)	12,5476	25,0952	37,6174	50,165	125,4252
Cobre						
	$\theta_{g,crit}$ (grad)	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29
	$\cos(\theta_{g,crit})$	0,999747	0,999747	0,999747	0,999747	0,999747
	Radio de curvatura (cm)	25,0952	50,165	75,2602	100,33	250,825

La Tabla 2 muestra que un tubo de diámetro mayor requiere un radio de curvatura mayor (esto es, una curvatura más suave del codo). Aunque el diámetro del tubo de transmisión de rayos X varía desde 0,0127 cm a 0,127 cm (desde 0,005 pulgadas a 0,05 pulgadas) en la Tabla 2, el tubo puede ser de cualquier diámetro que sea inferior a 15,24 cm (6,0 pulgadas). En algunos casos, el diámetro del tubo puede ser menor que 5,08 cm (2 pulgadas). En casos adicionales, el diámetro del tubo puede ser menor que 2,54 cm (1 pulgada). Alternativamente, el diámetro del tubo puede ser menor que 1,27 cm (0,5 pulgadas), tal y como se muestra en la Tabla 2. Con respecto a los diferentes materiales del tubo de transmisión de rayos X 202, la Tabla 2 muestra que el tungsteno puede soportar una curvatura más acusada que el cobre para cualquier diámetro de tubo dado.

La figura 6 es un diagrama de flujo de un proceso de preparación 600 a modo de ejemplo de un sistema de toma de imágenes mediante rayos X para la toma de imágenes. El proceso 600 puede ser llevado a cabo por el sistema de toma de imágenes mediante rayos X 100 de la figura 1. El orden de las operaciones del proceso 600 no está destinado para ser interpretado como una limitación.

En 602, se establece o configura el sistema de toma de imágenes mediante rayos X 100. En algunos casos, la configuración del sistema de toma de imágenes mediante rayos X 100 puede incluir la conexión del tubo de pequeño diámetro 108 al generador de rayos X 104 y la orientación del tubo de pequeño diámetro 108 sobre un objeto a inspeccionar. En otros casos, la configuración del sistema de toma de imágenes mediante rayos X 100 en 602 puede incluir adicionalmente la conexión del generador de rayos X 104 a la fuente de alimentación 102.

En 604, se determina si hay algún codo en el tubo de pequeño diámetro 108. Si no hay codos en el tubo de pequeño diámetro 108 (es decir, la rama "No" que sale de 604), la toma de imágenes comienza en 618. Si hay codos en el tubo de pequeño diámetro 108 (es decir, la rama "Si" que sale de 604), se calcula el ángulo de curvatura crítico, $\theta_{g,crit}$, en 606. En algunos casos, las Ecuaciones 1 a 3 pueden ser utilizadas para calcular el ángulo de curvatura crítico, $\theta_{g,crit}$, en 606 a partir de la frecuencia de plasma objeto del tubo de transmisión de rayos X 202 y de la frecuencia de rayos X de los rayos X que viajan a través del tubo de pequeño diámetro.

En 608, se calcula el radio de curvatura permitido, R. La Ecuación 4 se puede utilizar para calcular el radio de curvatura permitido, R, a partir del ángulo de curvatura crítico, $\theta_{g,crit}$, y del diámetro del tubo de transmisión de rayos X. En algunos casos, el tubo de transmisión de rayos X determina el ángulo de curvatura crítico, $\theta_{g,crit}$, y el radio de curvatura permitido del tubo de pequeño diámetro 108.

En 610, se miden los codos del tubo de pequeño diámetro 108. La medición de los codos en 610 puede incluir medir un radio de curvatura de todos los codos del tubo de pequeño diámetro. En 612, los codos medidos del tubo de pequeño diámetro son comparados con el radio de curvatura permitido, R, calculado en 608. Si el radio de curvatura permitido calculado, R, no es mayor que los radios de curvatura medidos (es decir, la rama "No" que sale de 612), la

toma de imágenes comienza en 618. Si el radio de curvatura permitido calculado, R , es mayor que las curvaturas medidas (es decir, la rama "Si" que sale de 612), entonces se ajusta el tubo de pequeño diámetro en 614. El ajuste del tubo de pequeño diámetro en 614 puede incluir la rectificación de los codos del tubo de pequeño diámetro que son más pequeños que el radio de curvatura permitido. Los codos del tubo de pequeño diámetro 108 son medidos nuevamente en 614.

En 616, los codos medidos nuevamente del tubo de pequeño diámetro 108 son comparados con el radio de curvatura permitido, R , calculado en 608. Si los radios de curvatura medidos nuevamente son mayores que el radio de curvatura permitido calculado, R , (es decir, la rama "No" que sale de 616), la toma de imágenes comienza en 618. Si los radios de curvatura medidos nuevamente son menores que el radio de curvatura permitido calculado, R , (es decir, la rama "Si" que sale de 616), entonces se ajusta de nuevo el tubo de pequeño diámetro en 614. En el proceso 600, el tubo de diámetro pequeño es ajustado continuamente en 614 hasta que los codos medidos nuevamente sean mayores que el radio de curvatura permitido calculado, R , punto en el cual la toma de imágenes comienza en 618. En algunas realizaciones, un usuario puede configurar el sistema de toma de imágenes mediante rayos X disponiendo el tubo de pequeño diámetro de manera que el tubo esté orientado y posicionado sobre el objeto a inspeccionar para la toma de imágenes. Una vez que el tubo está configurado, el usuario puede recorrer la longitud del tubo comprobando visualmente los posibles codos del tubo. Por ejemplo, si la fuente de alimentación y/o el generador de rayos X están dispuestos alrededor de una esquina con respecto al objeto del que se toman las imágenes, entonces el tubo de pequeño diámetro contendrá por lo menos un codo para que el sistema de toma de imágenes mediante rayos X pueda ser orientado hacia el objeto a inspeccionar sin tener que mover la fuente de alimentación y el generador. Por cada codo del tubo, el usuario ajusta el tubo en 614 hasta que los codos del tubo sean mayores que los radios de curvatura permitidos. En algunas realizaciones, el tubo de transmisión de rayos X 202 permite que el tubo de pequeño diámetro 108 conserve su forma cuando el usuario ajusta el tubo en 614. Alternativamente, se pueden utilizar una o más fijaciones de tubo para permitir que el tubo conserve su forma durante el reajuste en 614.

La figura 7 es una vista lateral en alzado de una aeronave 700 a modo de ejemplo, la cual puede someterse a inspección mediante la utilización de las técnicas descritas en la presente memoria. Se puede apreciar que la aeronave 700 puede incluir diferentes partes conocidas y desconocidas, sobre todo si la aeronave ha estado en servicio durante muchos años, tal como una aeronave montada para servicios de guerra a gran escala (por ejemplo, alrededor de 1945, etc.). Por tanto, el sistema de toma de imágenes mediante rayos X puede inspeccionar la aeronave 700 en busca de FOD tal como se ha descrito en la presente memoria.

En esta realización, la aeronave 700 incluye un fuselaje 702 que incluye los montajes de las alas 704, un montaje de la cola 706 y un montaje del tren de aterrizaje 708. La aeronave 700 incluye además una o más unidades de propulsión 710, un sistema de control 712 y un servidor de otros sistemas y subsistemas que permiten la adecuada operación de la aeronave 700. Se ha de apreciar que se pueden tomar imágenes de muchas de las partes incluidas en una aeronave mediante la utilización de las técnicas del sistema de toma de imágenes mediante rayos X descritas en la presente memoria.

Aunque la aeronave 700 mostrada en la figura 7 es representativa en general de una aeronave comercial de pasajeros, las enseñanzas de la presente descripción se pueden aplicar a la inspección de otros vehículos, estructuras y/o organismos vivos que puedan estar expuestos a FOD, incluyendo aeronaves de combate, aeronaves de carga, helicópteros, otros tipos de aeronaves tripuladas o no tripuladas, vehículos terrestres, barcos, dispositivos mecánicos, árboles, casas, pacientes de cirugía, etc.

CONCLUSIÓN

A pesar de que se han ilustrado y descrito realizaciones de la invención, como las mencionadas anteriormente, se pueden hacer muchas modificaciones sin salirse del alcance de la invención. En consecuencia, el alcance de la invención no está limitado por la descripción de estas realizaciones. En su lugar, la invención debe ser determinada en su totalidad por referencia a las reivindicaciones que siguen.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de toma de imágenes mediante rayos X (100), que comprende:
 - 5 un generador de rayos X (104) para generar rayos X;
 - un colimador (110) para orientar los rayos X según una dirección de flujo, estando un primer extremo del colimador conectado operativamente al generador de rayos X;
 - un tubo de pequeño diámetro (108) conectado operativamente a un segundo extremo del colimador opuesto al generador de rayos X, estando el tubo de pequeño diámetro adaptado para transmitir los rayos X desde el colimador, a lo largo de la dirección de flujo, hacia el objeto a inspeccionar; y
 - 10 un elemento de retención extremo (112) acoplado al extremo del tubo de pequeño diámetro opuesto al generador de rayos X, estando el elemento de retención extremo adaptado para emitir los rayos X hacia el área de inspección; en el que el tubo de pequeño diámetro incluye: un tubo de transmisión de rayos X (202); una capa de revestimiento (204) que rodea el tubo de transmisión de rayos X;
 - 15 una capa metálica (206) que rodea la capa de revestimiento;
 - una capa de revestimiento termoplástico (208) que rodea la capa metálica; y
 - una capa de cubierta de cable (210) que rodea la capa de revestimiento termoplástico.

2. El sistema de toma de imágenes mediante rayos X de la reivindicación 1, en el que el colimador incluye:
 - 20 un primer filtro, para bloquear rayos X, y para filtrar los rayos X generados; y
 - un segundo filtro para hacer converger los rayos X generados de manera que sean paralelos y estén próximos a un eje longitudinal (308) del colimador.

- 25 3. El sistema de toma de imágenes mediante rayos X de la reivindicación 2, en el que el primer filtro y el segundo filtro están hechos de un material de plomo, tungsteno o aluminio.

4. El sistema de toma de imágenes mediante rayos X de la reivindicación 1, en el que el colimador incluye un filtro que tiene una pluralidad de aberturas para filtrar los rayos X generados y bloquear los rayos X generados que no estén alineados con las aberturas.

- 30 5. El sistema de toma de imágenes mediante rayos X de la reivindicación 1, en el que el colimador incluye un filtro que tiene un canal para compactar los rayos X generados de manera que sean paralelos y estén próximos a un eje longitudinal (308) del colimador.

- 35 6. El sistema de toma de imágenes mediante rayos X de la reivindicación 1, en el que el generador de rayos X está separado del elemento de retención extremo una distancia de al menos 3,048 m (correspondiente a 10 pies).

- 40 7. El sistema de toma de imágenes mediante rayos X de la reivindicación 1, en el que el colimador comparte el mismo eje longitudinal con el tubo de pequeño diámetro.

8. Un método de inspección de un área de un objeto, comprendiendo el método:
 - 45 generar rayos X mediante la utilización de un generador de rayos X (104);
 - filtrar los rayos X generados a partir del generador de rayos X utilizando un colimador (110) para bloquear los haces de rayos X desalineados y para permitir que los haces de rayos X alineados pasen a través del colimador;
 - transmitir los rayos X alineados a través de un tubo de pequeño diámetro (108); y
 - emitir los rayos X alineados sobre el objeto; en el que el tubo de pequeño diámetro incluye: un tubo de transmisión de rayos X (202) en el centro del tubo de pequeño diámetro;
 - 50 una capa de revestimiento (204) que rodea el tubo de transmisión de rayos X;
 - una capa metálica (206) que rodea la capa de revestimiento;
 - una capa de revestimiento termoplástico (208) que rodea la capa metálica; y
 - una capa de cubierta de cable (210) que rodea la capa de revestimiento termoplástico.

- 55 9. El método de la reivindicación 8, en el que el colimador comparte el mismo eje longitudinal con el tubo de pequeño diámetro.

- 60 10. El método de la reivindicación 8, que comprende la toma de imágenes por retrodispersión de rayos X.

11. El método de la reivindicación 8, en el que el filtrado de los rayos X generados incluye:
 - pasar los rayos X a través de un primer filtro que tiene una pluralidad de aberturas para filtrar una porción de rayos X que no están sustancialmente paralelos al eje longitudinal del colimador; y pasar los rayos X a través

de un segundo filtro que tiene un canal para compactar los rayos X de manera que sean paralelos y estén próximos a un eje longitudinal (308) del colimador.

5 12. El método de la reivindicación 11, en el que el primer filtro y el segundo filtro están hechos de un material de plomo o de tungsteno.

13. El método de la reivindicación 8, que comprende además:

10 calcular un radio de curvatura crítico del tubo de pequeño diámetro; y
ajustar el tubo de pequeño diámetro hasta que todos los radios de curvatura del tubo de pequeño diámetro sean mayores que el radio de curvatura crítico.

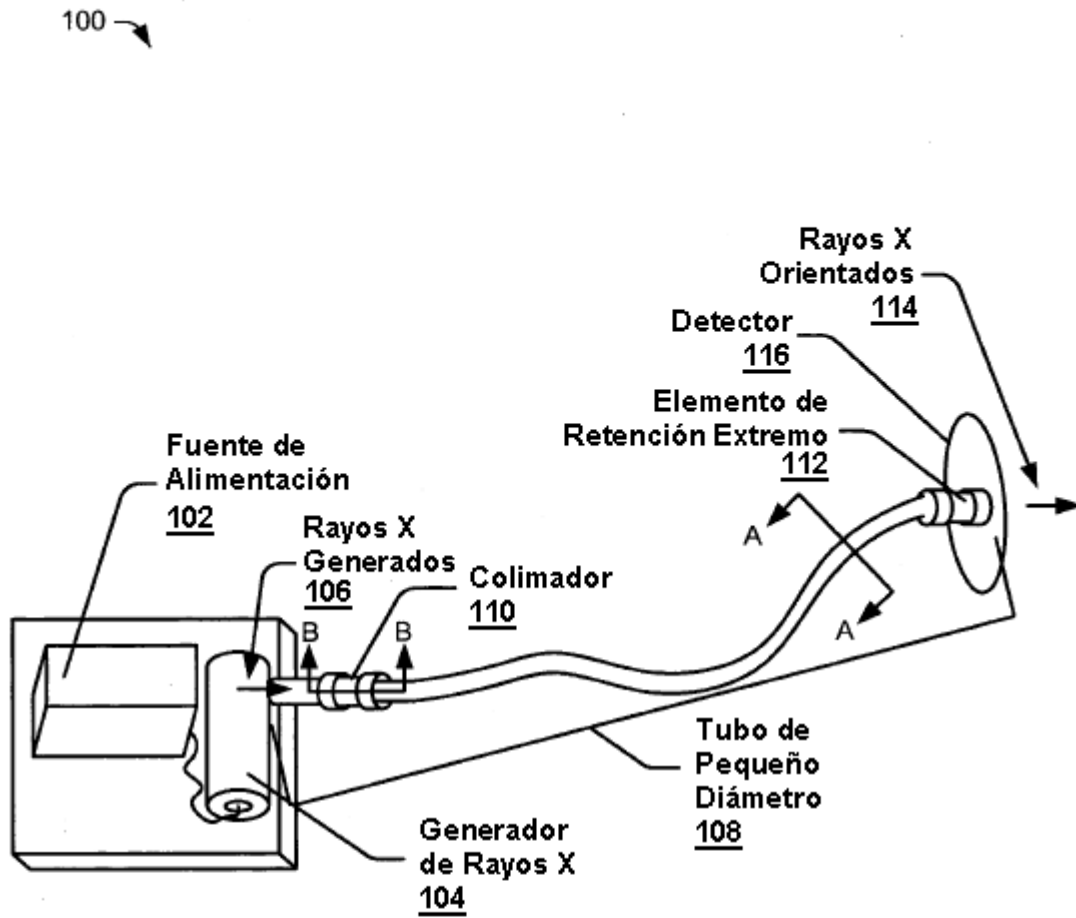


FIG. 1

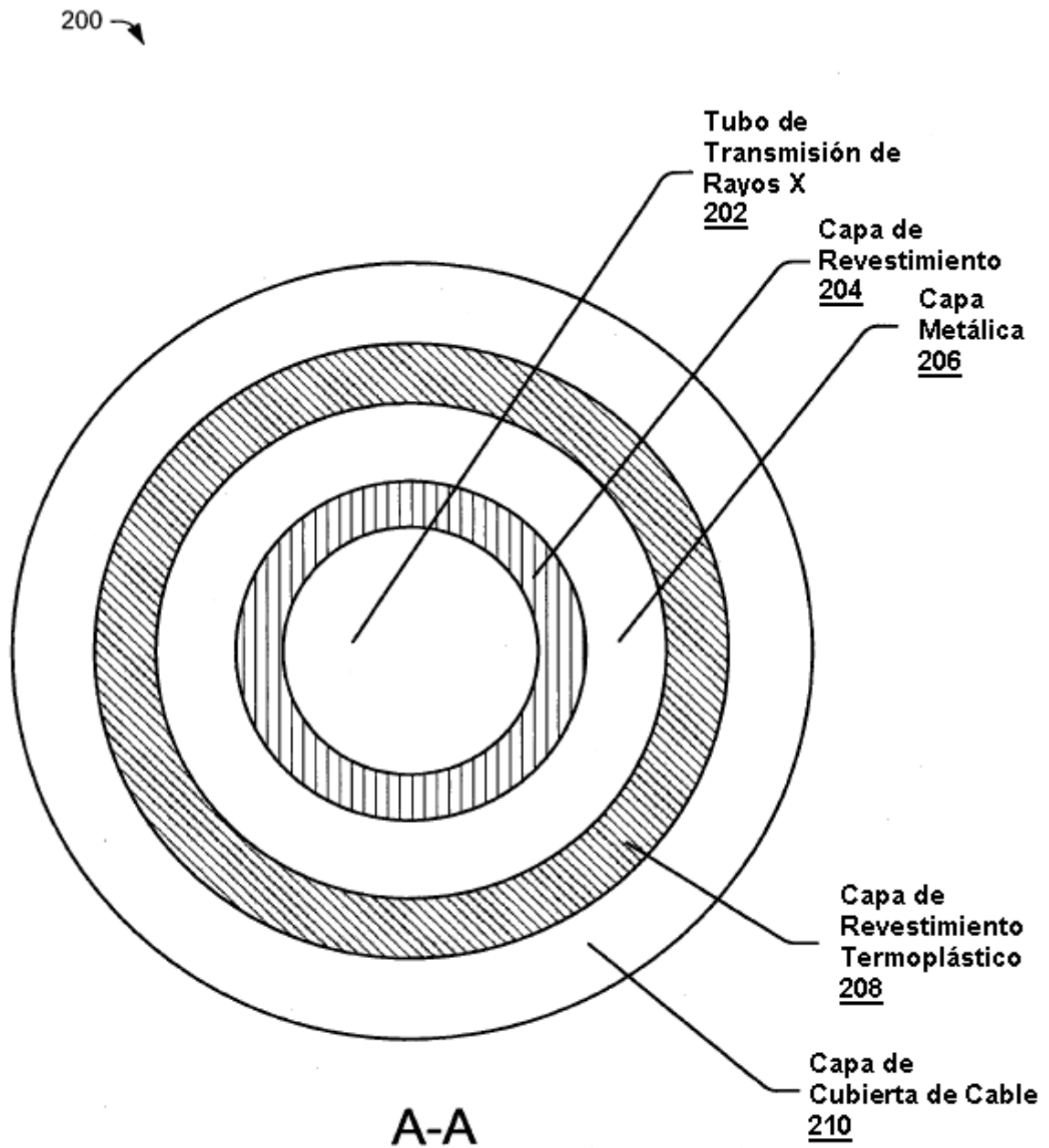
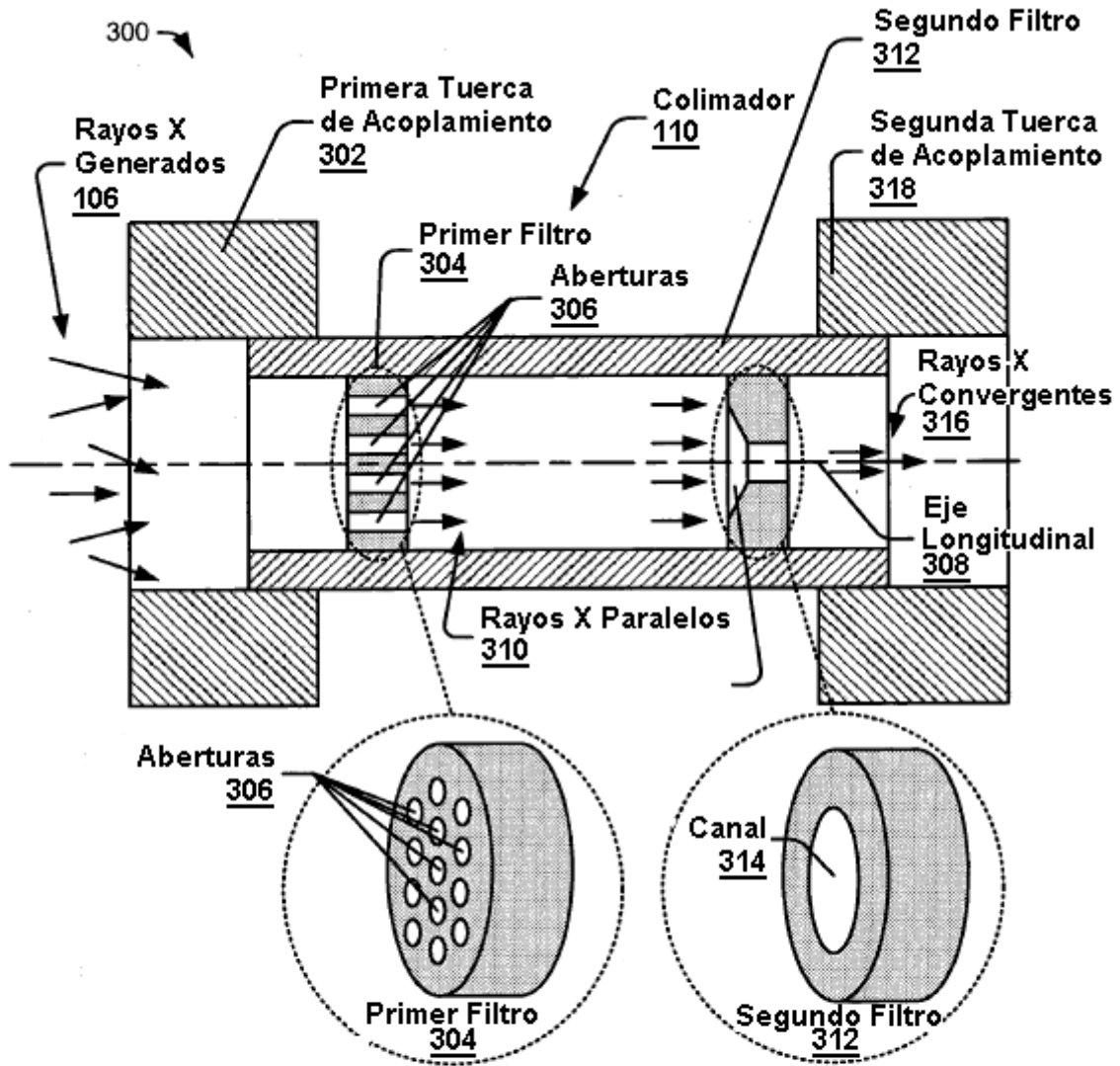


FIG. 2



B-B

FIG. 3

400 ↗

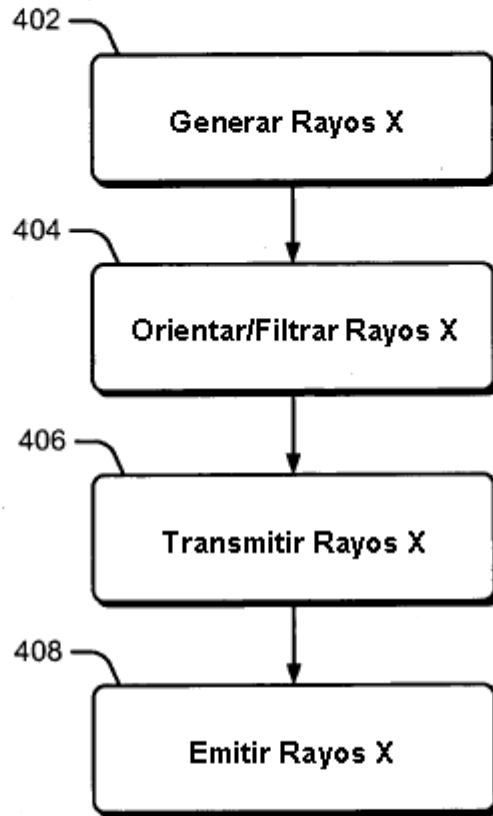


FIG. 4

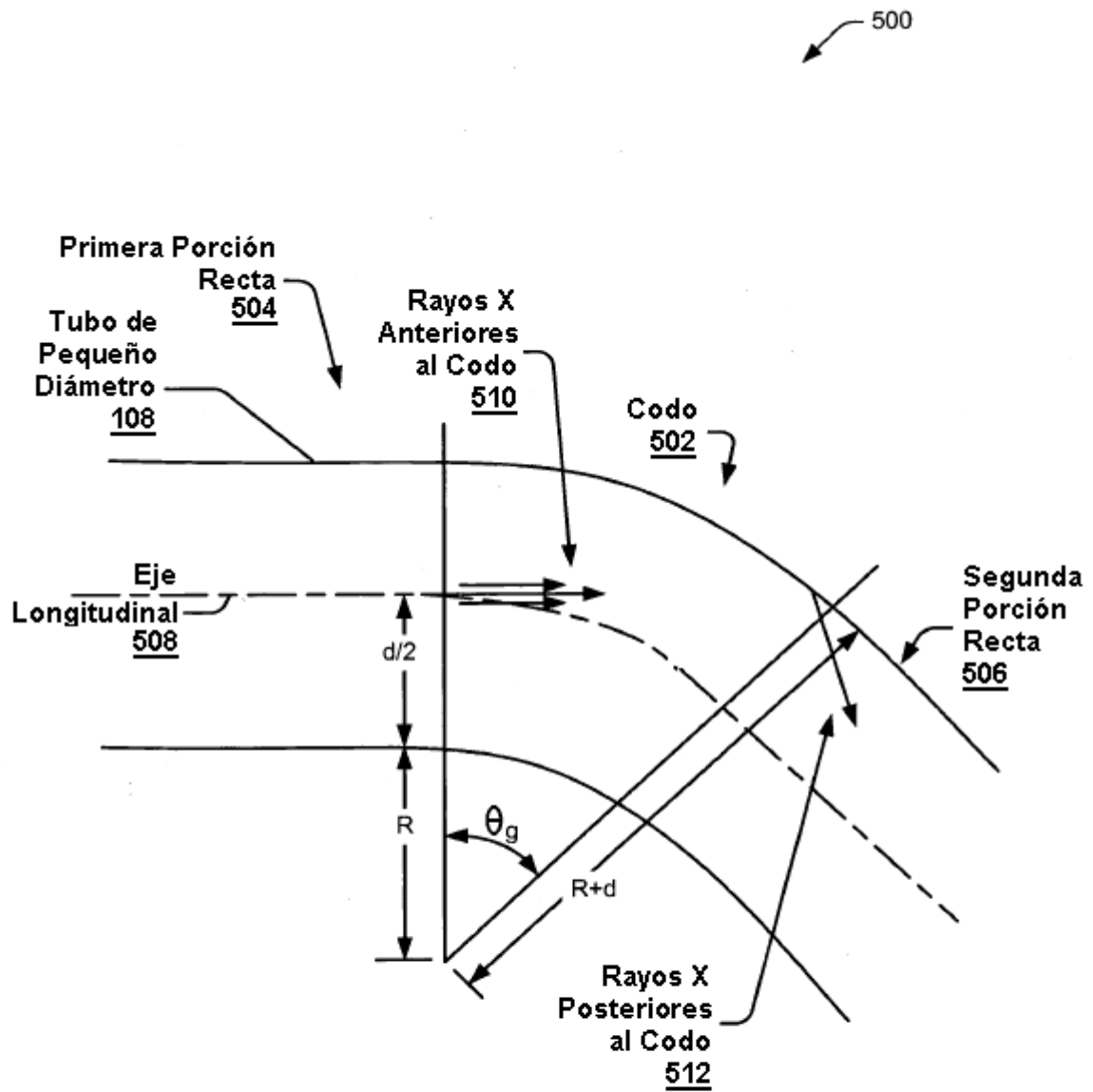


FIG. 5

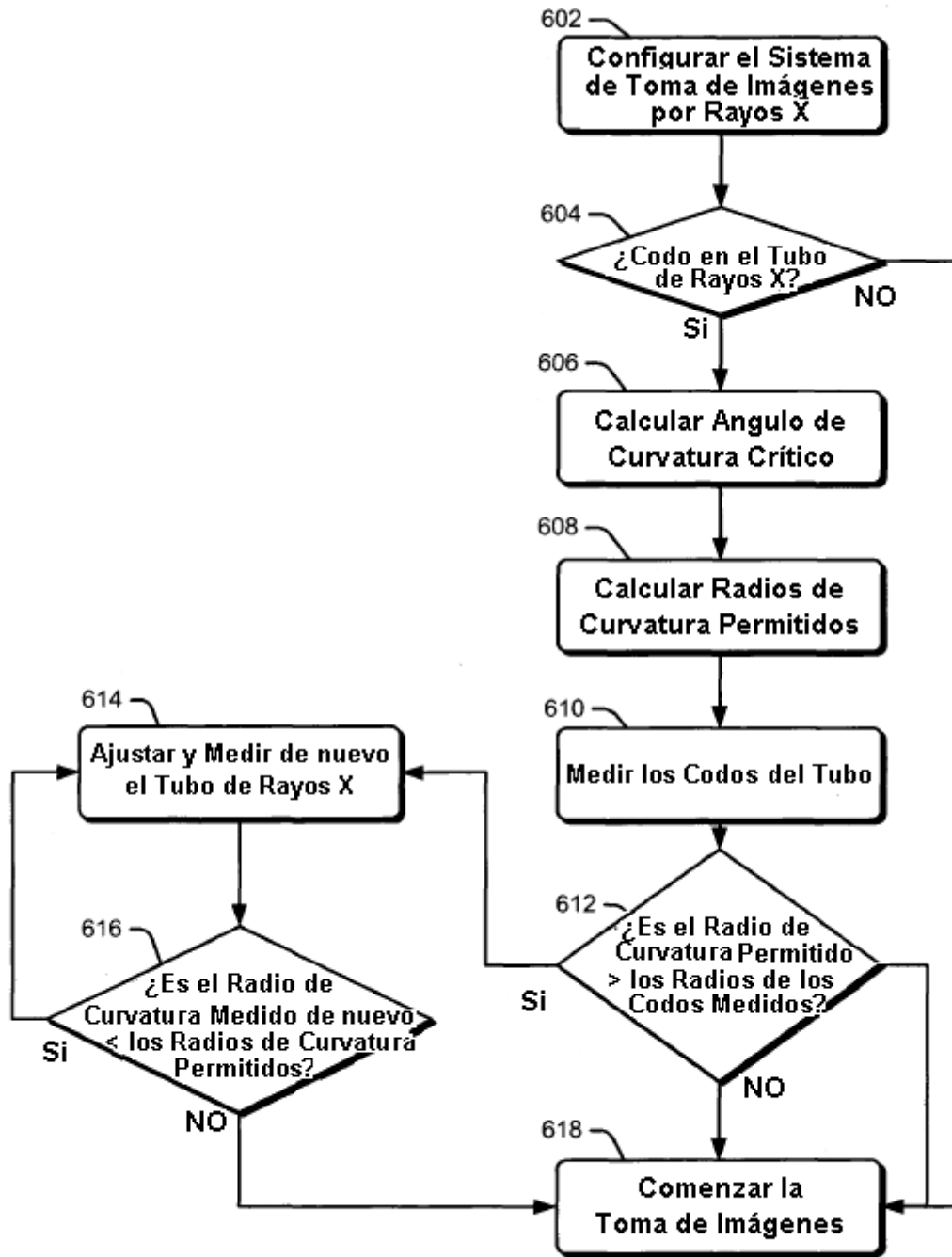


FIG. 6

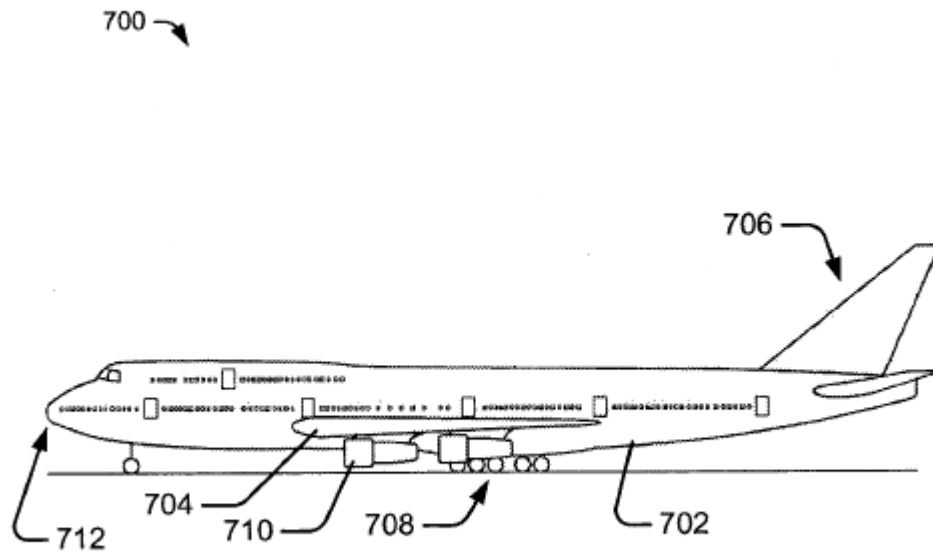


FIG. 7