

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA
Registro de la Propiedad Industrial



ESPAÑA

Concedido el Registro de acuerdo con los datos que figuran en la presente descripción y según el contenido de la Memoria adjunta.

19 ES

11

21

22

NUMERO
481.705
FECHA DE PRESENTACION
20-6-1979

10 A1

PATENTE DE INVENCION

60 PRIORIDADES:		
61 NUMERO	62 FECHA	63 PAIS
P 28 27 423.9	22-6-1978	R.F.A.
64 FECHA DE PUBLICIDAD	65 CLASIFICACION INTERNACIONAL	66 PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
	G01N 29/00, A61B 10/00	
67 TITULO DE LA INVENCION		
"UN METODO Y UN DISPOSITIVO PARA DETERMINAR LA ESTRUCTURA INTERNA DE UN CUERPO"		
71 SOLICITANTE (ES)		
N.V. PHILIPS'GLOEILAMPENFABRIEKEN		(PHD 78-085 ES HK/MdV)
DOMICILIO DEL SOLICITANTE		
29-Emmasingel, Eindhoven, Holanda		
72 INVENTOR (ES)		
Hermann SCHOMBERG y Manfred TASTO		
73 TITULAR (ES)		
74 REPRESENTANTE		
DON ALBERTO DE ELZABURU MARQUEZ		(P.-72.129)

jga

POOR
QUALITY

La presente invención se refiere a un método y un dispositivo, para poner en ejecución el método, de determinar la estructura interna de un cuerpo por medio de unos haces acústicos que se extienden entre unos elementos separados de transmisión acústica y de recepción acústica, de un convertidor acústico que al menos en parte rodea al cuerpo, incidiendo en los elementos de recepción acústica unos haces acústicos que han pasado a través del cuerpo en distintas direcciones, usándose los tiempos de tránsito de estos haces acústicos para determinar el índice de refracción acústica en puntos individuales de una matriz de puntos asociada al cuerpo.

Por la Memoria alemana DOS 27 37 109 se concibe un método de este género. Usando un receptor/convertidor en forma de arco de círculo y un haz ultrasónico de forma de abanico que pasa a través de un cuerpo que se va a examinar, desde diferentes direcciones situadas en un mismo plano, se obtienen para cada dirección unas proyecciones de tiempo de tránsito de las señales acústicas, y la combinación de dichas proyecciones de tiempo de tránsito permiten la reconstrucción de una distribución de velocidades en unas coordenadas ya conocidas, en una capa del cuerpo. A este respecto, se supone que el impulso ultrasónico que pasa a través del cuerpo sigue una trayectoria conocida, aproximadamente rectilínea, de modo que para la reconstrucción puede hacerse uso de unos métodos de reconstrucción tales como los utilizados para la reconstrucción de imágenes de tomografía de rayos X (véase el trabajo de J.F. Greenleaf en "Acoustical Holography", Plenum Press, vol. 6, págs, 71...89, 1975).

Ahora bien, la trayectoria de las señales acústicas (haces acústicos) depende de la distribución de los índices de refracción acústica en el cuerpo que se vaya a examinar, no siendo usualmente rectilíneos los haces acústicos, de modo que los métodos de reconstrucción de este género pueden usarse sólo hasta cierto punto, o en una extensión limitada, para la formación de imágenes de reconstrucción de gran calidad.

La presente invención tiene por objeto un método que permita la reconstrucción de imágenes acústicas de superior calidad, de las estructuras internas de un cuerpo.

A este fin, el método conforme a la invención se caracteriza por el hecho de que, partiendo de una distribución de los índices de refracción acústica, preseleccionada en los puntos de la matriz de puntos y que se aproxima a la estructura del cuerpo, teniendo en cuenta la geometría del convertidor acústico, se calcula el trayecto de recorrido a través del cuerpo por lo menos una vez para cada haz acústico, calculándose a partir de éste el tiempo de tránsito del haz, y usándose el tiempo de tránsito medido y el calculado de un haz acústico para determinar unos datos de corrección para la corrección paso a paso o por escalones de los índices de refracción acústica en los puntos de la matriz de puntos.

Este método permite la determinación de una distribución de estructura adecuada o correcta en unas áreas dadas, por ejemplo, del cuerpo humano. El método, notablemente, es adecuado para examinar las mamas buscando la detección y el diagnóstico del cáncer de mama, así como para la prueba o ensayo de material. El índice de refrac-

ción acústica del cuerpo que se va a examinar se determina en puntos individuales de una matriz de puntos permanentemente asociada al mismo. Los valores individuales de los índices de refracción acústica pueden entonces convertirse, por ejemplo, en unos valores de gris correspondientes para la reproducción de unas imágenes de capa individuales que pueden ser presentadas visualmente en una pantalla o impresas por una máquina de imprimir.

Un método preferido conforme a la invención es el que hace uso de unos haces acústicos que se extienden en distintas direcciones, para determinar una distribución de estructura espacial de un cuerpo tridimensional.

Se consigue así que una sola exposición de un paciente baste, por ejemplo, para determinar la distribución de índices de refracción acústica en una región o zona tridimensional del cuerpo del paciente. Usando medios electrónicos, pueden entonces hacerse visibles, en un monitor, unas capas individuales que se extiendan a través de la matriz de puntos permanentemente asociada al cuerpo, para lo cual las capas no tienen necesariamente que ser planas.

Otro método conforme a la invención se caracteriza por el hecho de que, por medio de los elementos de recepción acústica, se mide también la intensidad de los haces acústicos individuales, determinándose la intensidad de transmisión en la dirección de la trayectoria de cada haz acústico, teniendo en cuenta el trayecto de los haces acústicos y la característica de transmisión de los elementos de transmisión acústicos, usándose dicha intensidad de transmisión para obtener una señal de absorción

que es característica de la absorción del haz acústico, determinándose consecutivamente la absorción total a lo largo del trayecto de haz acústico, por lo menos una vez para todos los haces acústicos, a partir de una distribución de los coeficientes de absorción preseleccionada en los puntos de la matriz tridimensional de puntos y que se aproxima a la estructura del cuerpo, obteniéndose unos valores de corrección para la corrección paso a paso o por escalones del coeficiente de absorción en los puntos de la matriz de puntos por comparación de la absorción total con las señales de absorción medidas.

La distribución de los coeficientes de absorción puede determinarse sólo después de conocido el curso de las trayectorias de los haces acústicos (por ejemplo, por la reconstrucción precedente de los índices de refracción acústica). Si, además, se conoce la característica de transmisión de los elementos de transmisión acústica, es posible calcular la intensidad transmitida por estos elementos en la dirección de las trayectorias de los haces acústicos. Se consigue, pues, que además de la distribución de los índices de refracción se tenga disponible también la distribución de los coeficientes de absorción, para un diagnóstico más preciso de la estructura interna de un cuerpo. La característica de transmisión de los elementos individuales de transmisión acústica es ya conocida, o puede determinarse antes de empezar las mediciones.

Otra forma más de realización del presente invento se caracteriza por el hecho de que la dirección de los haces acústicos se hace variar mediante activación de unos elementos de transmisión acústica y unos elementos

de recepción acústica separados, pertenecientes al convertidor acústico, que se hallan dispuestos alrededor del cuerpo y cuya posición permanece invariable respecto al cuerpo rodeado de un medio de acoplamiento acústico.

5

Se consigue así que el convertidor acústico no tenga ya que hacerse girar en torno al cuerpo que se va a examinar, o sólo se tenga que hacer en parte. De ese modo se reduce substancialmente el tiempo requerido para medir los tiempos de tránsito de los haces acústicos o las intensidades. Claro está que, durante la exploración rotatoria del objeto, el eje de rotación tampoco puede desplazarse con respecto al cuerpo, porque de lo contrario no es posible obtener una reconstrucción correcta de las imágenes.

10

15

Un dispositivo conforme a la invención se caracteriza por tener prevista una primera parte o sección de memoria para el almacenaje de los tiempos de tránsito medidos, una segunda parte o sección de memoria para el almacenaje de unos valores previamente seleccionados, o de unos valores adaptados a base de los resultados de medición, de los índices de refracción en los puntos de la matriz, una tercera parte o sección de memoria para el almacenaje de unos valores calculados de los tiempos de tránsito, y una cuarta parte o sección de memoria para el almacenaje de otros datos adicionales, habiendo también prevista una unidad central de tratamiento destinada a calcular los tiempos de tránsito partiendo de la distribución de los índices de refracción acústica, para calcular los datos de corrección partiendo de los tiempos de tránsito medidos y de los tiempos de tránsito calculados, y

20

25

30

16079

para calcular los valores corregidos de los índices de refracción a base de éstos.

Otra forma de ejecución del dispositivo conforme al presente invento se caracteriza por tener prevista una
5 quinta parte o sección de memoria para el almacenaje de las intensidades de los haces acústicos recibidos y del haz acústico transmitido asociado, una sexta parte o sección de memoria para el almacenaje de la señal de absorción medida determinada a partir de las mismas, una séptima parte o sección
10 de memoria para el almacenaje de unos valores preseleccionados, o de unos valores adaptados a base de los resultados de medición, de los coeficientes de absorción en los puntos de matriz, y una octava parte o sección de memoria para el almacenaje de la absorción calculada a lo largo de cada uno
15 de los trayectos de haz acústico, estando además la unidad central de tratamiento destinada a calcular las señales de absorción medidas partiendo de las intensidades transmitidas y las recibidas, para calcular los valores de la absorción calculada partiendo de la distribución de los coeficientes
20 de absorción, para calcular unos valores de corrección partiendo de los valores de absorción medidos y los calculados, y para calcular unos valores corregidos de los coeficientes de absorción a base de los mismos.

El dispositivo, de preferencia, comprende un depósito capaz de girar en torno a un eje de rotación y de
25 desplazarse en la dirección del eje de rotación, y que puede ser llenado de un medio de acoplamiento acústico antes de la introducción del cuerpo que se vaya a examinar.

El nivel del depósito giratorio, en el que se
30 acomoda un convertidor acústico bidimensional, puede ser

ajustado, o bien es posible hacer girar el depósito en posición respecto al cuerpo, en torno a un eje de rotación, por medio de unos motores.

5 Como es obvio, los elementos de transmisión acústica pueden usarse también como receptores acústicos y viceversa, de modo que en una determinada posición del convertidor acústico es posible efectuar cada vez dos mediciones desplazadas 180°, con el resultado de que el tiempo total invertido en las mediciones se reduce substancialmente.

10 En otra forma más de ejecución del dispositivo conforme al presente invento, el convertidor acústico consta de una matriz plana de transmisión acústica y una matriz plana de recepción acústica, compuestas de elementos de transmisión acústica y de elementos de recepción acústica separados y adecuadamente activables, respectivamente, extendiéndose las columnas de matriz y las filas de matriz paralela y perpendicularmente, de modo respectivo, en relación con el eje de rotación.

15 Una fila de matriz de elementos acústicos de transmisión se sitúa cada vez frente a una fila de elementos acústicos de recepción, en un plano perpendicular al eje de rotación. Estas filas son mutuamente paralelas y capaces de girar en torno a este eje de rotación. En cada posición angular, unas parejas de filas de matriz de transmisión acústica y de filas de matriz de recepción acústica, situadas
20 unas encima de otras en la dirección del eje de rotación, son sucesivamente activadas por la activación sucesiva de unos elementos de transmisión acústica y unos elementos de recepción acústica situados cada vez en oposición, respectivamente, de una matriz de fila. El cuerpo resulta así ex-

plorado por capas.

El depósito que da acomodo al convertidor acústico no necesita desplazarse en la dirección del eje de rotación. Los exámenes, pues, se facilitan y reducen así sustancialmente. Como es obvio, resulta posible activar simultáneamente varios o la totalidad de los elementos de recepción acústica de una matriz de recepción acústica, cuando se activa un elemento acústico de transmisión de la fila de matriz de transmisión acústica situada enfrente, o en posición opuesta. Así se aumenta la densidad de información, de modo que se mejorará la reconstrucción de la imagen.

En otra forma preferida de realización del invento, la matriz de transmisión acústica consta de un solo transmisor acústico de forma de placa.

Así se consigue que las ondas acústicas transmitidas por el transmisor acústico sean casi planas, de modo que quede prefijada, por lo menos aproximadamente, la dirección inicial o de partida de los haces acústicos que se extienden perpendicularmente a los frentes de onda acústica y que llegan a la matriz de recepción acústica. Además, la activación de la matriz de transmisión acústica se simplifica sustancialmente, porque no se requiere ningún dispositivo electrónico para activar unos elementos dados individuales de transmisión acústica. Como los frentes de onda de las ondas acústicas llegan formando un ángulo dado con respecto a la matriz de recepción acústica, la dirección de llegada de los mismos puede determinarse, por lo menos aproximadamente, mediante las diferencias de tiempo de tránsito de los haces acústicos. En otra forma preferida de ejecución conforme al presente invento, la matriz de recepción acústica consta de un solo receptor acústico de forma de placa, con el resulta-

do de que los haces acústicos transmitidos por varios elementos acústicos de transmisión simultáneamente activados pueden detectarse también simultáneamente.

5 En otra forma preferida más, de ejecución del presente invento, el dispositivo comprende un generador ac tiv able para la formación de unos transmisores acústicos para transmitir haces acústicos enfocados, consistiendo di chos transmisores en unos círculos concéntricos de elementos de transmisión acústica separados, y siendo desplazables en la dirección de las filas y en la dirección de las columnas.
10 nas.

Así, en la matriz de transmisión acústica hay formados unos transmisores acústicos que constan de unos elementos de transmisión acústica activados, dispuestos en círculos concéntricos. Mediante la activación de todos los elementos de transmisión acústica de un círculo, en las fases adecuadas, se producen unos haces acústicos enfocados con arreglo al principio de Fresnel. De ese modo, el cuerpo que se vaya a examinar puede explorarse sucesivamente mediante desplazamiento de los círculos en la dirección de las filas. El receptor acústico de forma o a modo de placa, situado frente a la matriz de transmisión acústica, detecta entonces los haces acústicos enfocados. Si la matriz de transmisión acústica es suficientemente grande, los círculos concéntricos del transmisor acústico pueden también desplazarse en la dirección de las columnas de la matriz, para la exploración de diversas capas del cuerpo. Una matriz tipo de transmisión acústica puede constar de algunos millares de columnas y algunos centenares de filas.
15
20
25

30 En otra forma preferida más de la invención, el

convertidor acústico consta de unos elementos de transmisión acústica que sirven para generar unos haces acústicos en abanico y que están situados uno encima de otro en la dirección del eje de rotación, y de una matriz bidimensional de recepción acústica que está compuesta de elementos de recepción acústica separados y cuyas columnas se extienden paralelamente respecto al eje de rotación y cuyas filas están curvadas, al menos en parte, en torno al eje de rotación.

Los elementos de transmisión acústica separados que están dispuestos uno encima de otro se activan sucesivamente para transmitir haces acústicos en abanico. Los elementos de recepción acústica situados cada vez frente a un elemento de transmisión acústica pueden entonces activarse para medir los tiempos de tránsito y las intensidades de los haces acústicos individuales, de modo que el cuerpo que se vaya a examinar puede ser explorado en una región o zona tridimensional, cada vez, para una posición angular determinada del convertidor acústico, eligiéndose a este respecto un número adecuado de posiciones angulares.

En otra forma preferida de realización del presente invento, los elementos de recepción acústica del convertidor acústico están dispuestos en anillo y situados unos encima de otros en la dirección del eje de rotación, con el fin de formar un cilindro hueco para dar acomodo al cuerpo que se va a examinar, habiendo unos anillos de transmisión acústica, formados de igual manera que los anillos de recepción acústica, situados encima y debajo de los anillos de recepción acústica.

Los anillos de transmisión acústica constan de

unos elementos de transmisión acústica dispuestos adyacentemente en la dirección circunferencial y que pueden activarse por separado. Usando este convertidor acústico, los haces acústicos transmitidos por un elemento de transmisión acústica situado, por ejemplo, en el anillo de transmisión acústica superior, son recibidos por una columna de matriz situada en posición radialmente opuesta a aquél y que consta de unos elementos de recepción acústica activados por separado. A continuación se activa un elemento de transmisión acústica del anillo de transmisión acústica inferior, situado debajo de esta columna de matriz, y sus haces acústicos llegan a los elementos de recepción acústica situados radialmente en oposición con él, para ser medidos. Así, se define un plano de los haces acústicos que pasan a través del cuerpo, conteniendo dicho plano el eje del cilindro hueco y haciéndose girar cada vez mediante la activación de unos elementos de transmisión acústica dispuestos radialmente en oposición, en los anillos de transmisión acústica superior e inferior, de modo que el cuerpo puede ser explorado por completo sin que haya rotación mecánica del depósito. La extensión de la rotación angular depende entonces de la anchura de los elementos acústicos individuales de transmisión y de recepción.

En otra forma preferida más de ejecución, conforme al presente invento, se prevén unos elementos de transmisión acústica separados, situados unos encima de los otros, en los anillos de recepción acústica y a cierta distancia uno de otro en sentido circunferencial, de modo que se forman unas columnas de matriz, de elementos acústicos de transmisión, distribuidas por toda la circunferen-

5 cia del cilindro hueco. Las columnas de matriz de los elementos acústicos de transmisión quedan entonces situadas radialmente en oposición. Al ser activados, cada elemento de transmisión acústica es capaz de transmitir, por ejemplo, un haz acústico en abanico que es detectado por una parte de la fila de matriz situada al mismo nivel y que consta de unos elementos de recepción acústica separados. Todo elemento acústico de transmisión presente en esta matriz puede entonces estar conectado como receptor acústico.

10 Si esto no es posible, los valores de medición no presentes en esta posición se forman por interpolación de los valores de medición de los elementos de recepción acústica adyacentes, o bien no se tienen en cuenta. Mediante la activación de los elementos de transmisión acústica y los

15 elementos de recepción acústica separados, en el sentido circunferencial y en la dirección de la columna de matriz, respectivamente, el cuerpo vuelve a irradiarse en una región o zona tridimensional para medir los tiempos de tránsito y las intensidades de los haces acústicos. Aquí vuelve a prescindirse de la rotación mecánica del depósito;

20 ahora bien, es posible efectuar un desplazamiento mecánico en la dirección longitudinal del eje del cilindro hueco, por ejemplo, para el ajuste de posición del depósito.

25 En otra forma de realización del invento, el convertidor acústico consta de un solo anillo de elementos de recepción acústica situados unos al lado de otros, entre los cuales hay dispuestos unos elementos de transmisión acústica separados, a cierta distancia uno de otro en sentido circunferencial, siendo el convertidor acústico desplazable en la dirección del eje de rotación.

De ese modo se consigue que el equipo electrónico para activar los elementos acústicos de transmisión o los de recepción separados pueda ser reducido, de modo que los costes de fabricar tal dispositivo sean inferiores.

5 La invención se describirá con mayor detalle en lo que sigue, haciendo referencia a los dibujos esquemáticos adjuntos, en los cuales

- la figura 1 es una vista en planta de un depósito con un cuerpo que se va a examinar y una matriz de puntos asociada;

10 - la figura 2 ilustra una forma de ejecución de un dispositivo para poner en práctica el método de la invención; y

15 - las figuras 3 a 11 muestran distintas formas de realización de depósitos para un dispositivo conforme a la invención.

Para mayor sencillez, el método se describirá sobre la base de la determinación de una distribución de estructura bidimensional (distribución de índices de refracción acústica). El método puede ser fácilmente ampliado a tres dimensiones, tomando para ello también en cuenta la tercera coordenada en las ecuaciones que se dan más adelante.

25 La fig. 1 es un dibujo para la descripción del método. Esta figura es una vista en planta de un depósito cuadrado 1, el cual da acomodo a un convertidor acústico 2 que comprende dos matrices 3, 4 dispuestas en oposición, o enfrentadas en lados opuestos, de las cuales la primera (la matriz 3) consta de unos elementos de transmisión acústica 5, en tanto que la última (la 4) consta

30

16079

de unos elementos de recepción acústica 6.

En el interior del depósito 1, permanentemente asociado a un sistema plano de coordenadas cartesianas cuyos ejes ξ , η se extienden perpendicularmente a las paredes laterales 7 del depósito, va acomodado un cuerpo K que se va a examinar, el cual está rodeado por un medio de acoplamiento acústico como, por ejemplo, el agua; la extensión plana de dicho cuerpo puede ser tan grande que llene el círculo máximo de objeto 8 (indicado con línea de trazo interrumpido) que está determinado por la longitud de las filas de matriz. El cuerpo K lleva permanentemente asociada una matriz plana P de puntos, estando los valores n_{ij} de los índices de refracción acústica seleccionados en los puntos P_{ij} de la misma de acuerdo con la estructura del cuerpo K. La matriz P plana de puntos está situada en el plano x-y de un sistema de coordenadas cartesianas que va permanentemente asociado a la misma, siendo coincidentes el plano x-y y el plano $\xi - \eta$ y los orígenes de los sistemas de coordenadas (x,y) y (ξ , η). Ambos sistemas de coordenadas (ξ , η) y (x,y) pueden hacerse girar; uno respecto a otro, en torno a un eje de rotación 9 que se extiende pasando por el origen de los mismos y perpendicularmente al plano $\xi - \eta$.

El cuerpo puede ser sucesivamente irradiado con unos haces acústicos S (haces ultrasónicos), desde distintas direcciones, mediante rotación del depósito 1 en torno al eje de rotación 9. Los haces ultrasónicos tienen una frecuencia de algunos megahertzios. Para una dirección que forme un ángulo θ con el eje x , los elementos de transmisión acústica 5 se activan sucesivamente, transmi-

5 tiendo los haces acústicos S, activándose el elemento 6 de recepción acústica situado frente al elemento de transmisión activado, y/o alguno u otros más de los demás elementos de recepción, para la detección de los haces acústicos S, según deseos.

10 Partiendo de los tiempos de tránsito medidos T de los haces acústicos S, se determina el índice n_{ij} de refracción acústica en los puntos de matriz P_{ij} de la matriz P de puntos, con arreglo al método que se describirá más adelante. Además, partiendo de las intensidades I es posible determinar la distribución del coeficiente α de absorción en los puntos P_{ij} de la matriz, si se conoce la distribución de los índices de refracción n_{ij} en la matriz P de puntos.

15 Si se designa con k el número indicativo de un elemento de transmisión acústica 5 y con la letra l el número que indice un ángulo θ dado, la fórmula (1) que sigue es aplicable a la integral curvilínea del índice de refracción acústica, teniendo en cuenta un término de corrección ϵ_{kl} introducido por medición de inexactitudes e irrelevancia de suposición o hipótesis de modelo (por ejemplo, que fuese aplicable la acústica geométrica):

25
$$\int_{r_{kl}} n \, ds + \epsilon_{kl} = S_{kl} = \mathcal{V}_0 \cdot T_{kl} \quad (1)$$

30 En ella, \mathcal{V}_0 es la velocidad del sonido en el agua, T_{kl} es el tiempo de tránsito medido de un haz acústico S, y $r_{kl}(n)$ es el trayecto recorrido por el haz acústico S me-

dió. El índice k va tomando entonces los valores de 1 a K (esto es, $k = 1, \dots, K$), indicándose con K el número total de elementos de transmisión acústica ζ de una fila de la matriz. El índice l va variando de $l=1, l=L$, indicándose con L el número total de ángulos θ .

El trayecto $r_{kl}(n)$ es desconocido, pero al menos puede llegarse a un valor aproximado a base de la distribución previamente seleccionada de los índices n_{ij} de refracción acústica. A este fin, el trayecto o intervalo de integración $r_{kl}(n)$ se subdivide en elementos de trayecto discretos, de modo que es aplicable la siguiente expresión:

$$\sum_{i,j} a_{ij}^{kl}(\vec{n}) n_{ij} + \tilde{\zeta}_{kl} = S_{kl}, \quad (2)$$

en la cual \vec{n} es el vector del índice n_{ij} desconocido: por ejemplo, $\vec{n} = (n_{11}, n_{12}, \dots, n_{1n}, n_{21}, \dots)$. Además de ζ_{kl} , el error de subdivisión se incluye también en el término $\tilde{\zeta}_{kl}$. Los coeficientes $a_{ij}^{kl}(\vec{n})$ que dependen de \vec{n} pueden entonces calcularse de manera ya conocida, si se conoce \vec{n} . A este fin, se usa la interpolación de los índices de refracción n_{ij} que rodean a los elementos de trayecto, para calcular los índices de refracción \bar{n}_{ij} situados en los elementos de trayecto del intervalo o trayecto de integración y que cada vez producen, multiplicados por los elementos de trayecto, los coeficientes $a_{ij}^{kl}(\vec{n})$ deseados.

Para calcular los coeficientes $a_{ij}^{kl}(\vec{n})$, como es obvio, se hace necesaria la aproximación del trayecto de radiación (trayecto o intervalo de integración) $r_{kl}(\vec{n})$.

A este fin, se resuelve una ecuación diferencial dada, esto es, la "ecuación de los haces" que tiene su origen en la ecuación iconal (véase también el trabajo "La formación de imágenes tomográficas por computadora, usando rayos X y ultrasonidos", de C.V. Jakowatz y A.C. Kak, TR-EE 76-26, Julio de 1976, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Purdue, West Lafayette, Indiana 47907), teniendo en cuenta los problemas de valores límite o iniciales. Es posible la solución por aproximación, si se conoce el vector \vec{n} . Las perturbaciones pequeñas $\tilde{\xi}_{kl}$ se desprecian, y se intenta determinar los índices de refracción acústica de modo que la expresión

$$\sum a_{ij}^{kl}(\vec{n}) n_{ij} = \mathcal{U}_o T_{kl} = S_{kl} \quad (3)$$

sea, al menos aproximadamente, válida. Se introduce una condición secundaria por ser $n_{ij} = 1$, si n_{ij} va asociado a un punto P_{ij} de la matriz de puntos que esté situado con certeza en el agua 10.

Para determinar los índices de refracción n_{ij} del cuerpo K, se da por adelantado una distribución sensata preseleccionada de índices de refracción (vector \vec{n}^o) que se aproxime a la estructura del cuerpo K. Partiendo de esta distribución dada \vec{n}^o , es posible determinar los tiempos de tránsito t_{kl} asociados, con arreglo a la ecuación

$$\sum_{ij} a_{ij}^{kl} \langle n^0 \rangle_{ij} = v_0 t_{kl}; \quad (4)$$

5 ahora bien, estos tiempos, en general, no corresponden a los tiempos de tránsito T_{kl} medidos. Tras la medición de los tiempos de tránsito T_{kl} de los haces acústicos S en las distintas direcciones, todas las ecuaciones (3) se toman en una secuencia sensata: por ejemplo, sucesivamente, cada vez con un índice l fijo y un índice k variable, y se modifican los valores de los índices de refracción n_{ij}^q de modo que los tiempos de tránsito calculados t_{kl} correspondan a los tiempos de tránsito T_{kl} medidos. Esto se realiza mediante determinación del factor de corrección A_{kl} con arreglo a la ecuación

$$A_{kl} = (S_{kl} = \sum_{ij} a_{ij}^{kl} \langle n^q \rangle_{ij}) / \sum_{ij} (a_{ij}^{kl} \langle n^q \rangle_{ij}^2). \quad (5)$$

20 Así, el vector $\langle n^q \rangle$ (por ejemplo, con $q = 0$, primera aproximación) se corrige por medio de unos valores de corrección \bar{A} de modo que sea

$$n_{ij}^{q+1} = n_{ij}^q + \bar{A} = n_{ij}^q + C_{ij}^q \cdot A_{kl} \cdot a_{ij}^{kl} \langle n^q \rangle. \quad (6)$$

25 En estas expresiones, el índice q indica el número de pasos o escalones de iteración, en tanto que C_{ij}^{kl} es un pa-

rámetro de atenuación adecuadamente elegido (con $0 < c^{kl} \leq 1$) para generar convergencia. Los valores de n_{ij}^{q+1} así calculados pueden ser allanados o perfilados, si así se desea, en una extensión dada para mejorar la calidad de reconstrucción, formando para ello el valor medio ponderado de los índices de refracción circundantes. El proceso de iteración se detiene una vez satisfechas todas las ecuaciones (3) suficientemente, esto es, cuando la diferencia entre el tiempo de tránsito medido T_{kl} y el tiempo de tránsito calculado t_{kl} es suficientemente pequeña para todos los haces acústicos S, o bien al cabo de cierto número fijo de pasos de iteración.

Para determinar una distribución de estructura tridimensional, se amplían todas las ecuaciones (1...6) a tres dimensiones. Se tienen entonces en cada ecuación unas incógnitas procedentes de las distintas capas definidas por el dispositivo detector 2. Ahora bien, la calidad de la reconstrucción se mejora adicionalmente, porque se tiene en cuenta por completo el recorrido tridimensional de los haces acústicos S.

En la práctica puede ocurrir que no haya presentes unos valores de medición dados: por ejemplo, porque los huesos atenúan excesivamente la señal ultrasónica (haz acústico). En tal caso, para la reconstrucción puede omitirse la ecuación correspondiente, sin que la calidad de la reconstrucción resulte esencialmente afectada.

La reconstrucción del coeficiente de absorción $\alpha = (\alpha_{11}, \alpha_{12}, \dots)$ se efectúa tras la determinación de la distribución de índices de refracción. Para determinar una distribución bidimensional del coeficiente de ab-

—sorción, es aplicable la ecuación siguiente:

$$\int_{r_{kl}(n)} \alpha ds = B_{kl} = \ln \left(\frac{I_{kl}^0}{I_{kl}} \right). \quad (7)$$

5

En ella se conocen las señales de absorción B_{kl} . Como el trayecto de haz $r_{kl}(n)$ se conoce por la reconstrucción precedente de los índices de refracción, es posible determinar I_{kl}^0 , esto es, la intensidad acústica transmitida, para una característica de transmisión conocida de un elemento 5 de transmisión acústica, en la dirección de cada trayecto de radiación $r_{kl}(n)$. La intensidad I_{kl} es medida cada vez por los elementos acústicos de recepción 6.

10

En lugar de las intensidades I_{kl} , I_{kl}^0 , pueden también medirse y calcularse las amplitudes máximas $A_{kl}^{\text{máx}}$ y $A_{kl}^{\text{omáx}}$, respectivamente.

15

El trayecto de radiación $r_{kl}(n)$ vuelve a subdividirse en elementos de trayecto discretos, de modo que la absorción total a lo largo de un trayecto de radiación S puede describirse mediante la ecuación

20

$$\sum_{ij} a_{ij}^{kl} \langle n \rangle \alpha_{ij} + \tilde{\epsilon}_{kl} \approx B_{kl}, \quad (8)$$

25

en la cual $k=1, \dots, K$ y $l=1, \dots, L$. El error $\tilde{\epsilon}_{kl}$ introducido por la subdivisión se desprecia, y los valores $a_{ij}^{kl} \langle n \rangle$ son unos coeficientes que describen el trayecto de radiación $r_{kl}(n)$. Son éstos los mismos coeficientes que ya han sido calculados para la reconstrucción precedente de los índices de refracción.

30

La distribución del coeficiente de absorción acústica α_{ij} en los puntos individuales P_{ij} de la matriz P de puntos puede determinarse de la manera usada para determinar la distribución de los índices de refracción. Se supone por adelantado, en los puntos P_{ij} , una distribución dada de coeficientes de absorción acústica. Partiendo de esta distribución supuesta del coeficiente de absorción α^0 ($q = 0$), es posible calcular la absorción total b_{kl} asociada a un haz acústico, con arreglo a la ecuación

$$\sum_{ij} s_{ij}^{kl} \binom{n}{ij} \alpha_{ij}^0 = b_{kl} \quad (9)$$

Este valor no corresponde en general a la señal de absorción B_{kl} medida. Se toman entonces todas las ecuaciones (8) sucesivamente, en una secuencia sensata, tras la determinación de las señales individuales de absorción B_{kl} , y se modifica α_{ij}^q de modo que la absorción total b_{kl} corresponda cada vez a la señal de absorción medida B_{kl} . Esto se efectúa mediante la determinación de un factor de corrección β_{kl} , siendo

$$\beta_{kl} = (B_{kl} - \sum_{ij} s_{ij}^{kl} \binom{n^q}{ij} \alpha_{ij}^q) / \sum_{ij} (s_{ij}^{kl} \binom{n^q}{ij}^2) \quad (10)$$

Así la distribución de absorción α^q se corrige mediante unos valores de corrección \bar{B} , de modo que para todos los puntos P_{ij} se tenga

$$\alpha_{ij}^{q+1} = \alpha_{ij}^q + \bar{B} \quad (11)$$

El índice q es aquí también un índice de recuento de la iteración, en tanto que el término de corrección \bar{B} es

$$\bar{B} = \beta_{kl} a_{ij}^{kl} (n^q) . \quad (12)$$

5

Como es obvio, este método puede también ampliarse fácilmente a tres dimensiones en cuanto se añade a cada ecuación (7...12) la tercera coordenada correspondiente. Las perturbaciones producidas por las reflexiones de los haces acústicos S pueden eliminarse, de manera ya conocida, por medición a dos frecuencias acústicas distintas.

100

La fig. 2 ilustra esquemáticamente el dispositivo para poner en práctica el método de la invención. El depósito 1 tiene una forma rectangular y da acomodo a un cuerpo K que está rodeado por un medio de acoplamiento acústico 10 (por ejemplo, agua) y que se introduce en el depósito 1 por arriba. El convertidor acústico 2, dispuesto en dos paredes opuestas o enfrentadas dentro del depósito 1, consta de una matriz 3 de transmisión acústica y de una matriz 4 de recepción acústica, las cuales comprenden unos elementos acústicos de transmisión 5 y de recepción 6 separados, respectivamente, dispuestos en filas y columnas y que comprenden, por ejemplo, una superficie plana cuadrada de transmisión y de recepción, respectivamente. Las superficies de transmisión y las superficies de recepción, como es obvio, pueden tener también una forma y características geométricas adecuadas distintas. Por ejemplo, las superficies de transmisión y las superficies de recepción de los elementos acústicos de transmisión y de recepción, respectivamente, pueden estar realizadas en forma de espejo cóncavo. Además,

15

20

25

30

el depósito 1 puede hacerse girar mecánicamente en torno a un eje de rotación 9 (flecha 11) y desplazarse en la dirección longitudinal del eje de rotación 9 (flecha 12). Esto se realiza por medio de un motor adecuado 13 que está controlado por una unidad de mando 14. Como es obvio, el cuerpo K debe mantenerse en la posición adecuada, mediante un anclaje 15 apropiado, durante la rotación del depósito 1. Durante el examen de un cuerpo humano, por ejemplo, un pecho de mujer, el depósito 1 se dispone debajo de una mesa de examen (no representada) de modo que el pecho pueda ser introducido en el depósito 1 estando la paciente tendida boca abajo sobre la mesa. El convertidor acústico 2 no necesita estar dispuesto forzosamente contra las paredes interiores 7 (fig. 1) del depósito 1. La matriz de transmisión acústica 3 y la matriz 4 de recepción acústica pueden también estar dispuestas más hacia dentro en el depósito, paralelas entre sí y una frente (opuesta) a la otra. También pueden estar dispuestas, de manera deslizable y a prueba de fugas, en unas aberturas (no representadas) practicadas en el depósito 1.

Cada elemento acústico de transmisión 5 y cada elemento acústico de recepción 6 va conectado, por medio de un conductor 16 de conexión eléctrica, a un conmutador electrónico respectivo, 17 y 18 controlado por la unidad de mando 14. La unidad de mando o control 14 está gobernada por un generador de reloj 20. El conmutador electrónico 17 conecta sucesivamente cada elemento de transmisión acústica 5 a un generador 19a de alta frecuencia, para generar impulsos ultrasónicos. La frecuencia ultrasónica asciende a algunos megahertzios.

5 Simultáneamente con la activación de un elemento de transmisión acústica 5, por ejemplo, es posible activar por medio del conmutador electrónico 18, un elemento de recepción acústica 6 situado directamente frente (en posición opuesta) a él, de modo que por cada impulso ultrasónico transmitido se recibe un impulso ultrasónico. Así, es posible explorar el cuerpo K línea tras línea. Como es obvio, pueden activarse otros elementos 6 de recepción acústica distintos del situado directamente frente al elemento 10 5 de transmisión acústica, para la detección de uno o más impulsos ultrasónicos.

15 Los haces acústicos (impulsos ultrasónicos) detectados por los elementos acústicos de recepción 6 separados se convierten directamente en unas señales eléctricas que pasan por el conmutador electrónico 18 y por un amplificador sucesivo 21 que forma parte de un dispositivo electrónico 22. De preferencia, para cada canal de datos o para cada elemento acústico 6 de recepción se prevé tal amplificador 21, posiblemente en combinación con otros pasos 20 electrónicos que más adelante se describirán.

25 La señal analógica S_0 de salida del amplificador 21, correspondiente al impulso ultrasónico, se aplica a un retardador 23 y también a un circuito escuadrador o perfilador 24 que le da un perfil rectangular a la amplitud de cada señal de salida S_0 . A continuación, la señal de salida escuadrada se integra por medio de un integrador 25, tras lo cual se extrae la raíz por medio de un circuito 26 extractor de raíces. En la salida del circuito 26 extractor de raíces se dispone entonces de una señal S_2 (media cuadrática, esto es, raíz cuadrada de la media de los cuadrados 30

de los impulsos de señal ultrasónica recibidos) que corresponde a la intensidad medida I_{kl} del impulso ultrasónico. Esta señal S_2 se divide por la señal de salida retardada S_1 del amplificador 21, en un divisor 27, con el fin de generar una señal normalizada S_3 que se aplica a un discriminador de umbral 28 para medir el tiempo de tránsito del impulso ultrasónico. Esta operación tiene por objeto normalizar la amplitud de la señal de salida S_0 , con el fin de obtener un tiempo de tránsito que sea independiente de la amplitud. El retardo constante introducido por la línea de retardo 23 puede restarse, más adelante, en una unidad aritmética 29 numérica. El integrador 25, naturalmente, debe estar repuesto o desactivado antes de la llegada de una nueva señal de salida S_0 . El divisor 27 puede activarse o conectarse sólo al cabo de cierto tiempo después del comienzo de la integración, con el fin de impedir, por ejemplo, la división por cero de una señal de ruido presente, de modo que exceda del umbral del discriminador de umbral 28. Lo que antecede está controlado por la unidad de mando 14.

La unidad de mando 14 repone un contador 30 cada vez al transmitirse un impulso ultrasónico, después de lo cual dicho contador empieza a contar. El recuento se detiene cuando el umbral del discriminador de umbral 28 es sobrepasado por la amplitud de la señal normalizada S_3 ; así se mide el tiempo de tránsito T_{kl} del impulso ultrasónico. Este tiempo de tránsito T_{kl} medido se almacena en una primera sección 321 de una memoria 32.

La memoria 32 comprende además: una segunda sección 322 para el almacenaje de los valores n_{ij} de los índices de refracción acústica, preseleccionados o adaptados

a base de los resultados de medición; una tercera sección 323 para almacenar los valores calculados t_{kl} de los tiempos de tránsito; y una cuarta sección 324 para el almacenaje de otros datos adicionales, tales como los datos de corrección \bar{A} y otros datos temporáneamente requeridos para los cálculos. Hay una unidad central de tratamiento 29 destinada a efectuar todos los cálculos descritos con referencia a la fig. 1.

Para determinar la distribución del coeficiente de absorción α , la señal S_2 que corresponde a la intensidad de medición I_{kl} se aplica a un convertidor 31 de analógico en numérico, y se almacena en una quinta sección de memoria 325 que recibe también la intensidad asociada I_{kl}^0 del haz acústico transmitido. Partiendo de ella, la unidad central de tratamiento 29 calcula la señal de absorción B_{kl} para cada trayecto de haz S , almacenándose el valor de dicha señal en una sexta sección de memoria 326. Los valores α_{ij} de los coeficientes de absorción, preseleccionados o adaptados a base de los resultados de medición, se almacenan en una séptima sección de memoria 327, y el valor de la absorción calculada b_{kl} a lo largo de cada trayecto de radiación S se almacena en una octava sección 328 de la memoria.

Usando estos datos, la unidad central de tratamiento 29 reconstruye una imagen del cuerpo K que se hace visible por medio de un dispositivo de presentación 33 como, por ejemplo, una pantalla de presentación visual o un aparato impresor.

La fig. 3 muestra un depósito rectangular 1 en el que hay una matriz 3 de transmisión acústica y una ma-

triz 4 de recepción acústica dispuestas en paredes opuestas o enfrentadas 7. El depósito 1 comprende un árbol rotatorio 9 que está conectado a su fondo 7a y en torno al cual puede girar el depósito (flecha 11). También es posible el desplazamiento en la dirección longitudinal del árbol rotatorio (flecha 12). Los conductores eléctricos de conexión 16 (fig. 2) que van a los elementos individuales de transmisión acústica 5 y a los de recepción acústica 6 se han omitido, para mayor claridad. La matriz 3 de transmisión acústica y la matriz 4 de recepción acústica, que están dispuestas contra la cara interna de las paredes 7 del depósito, constan de 64 a 128 columnas y de 10 filas. Como es obvio, el número de columnas y el de filas pueden aumentarse o reducirse de acuerdo con las dimensiones del objeto y la forma de constitución del objeto, o bien con la resolución requerida. La posición inicial y la posición final de los haces acústicos vienen determinadas por esta forma de construcción del convertidor acústico 2.

En la fig. 4, la matriz 3 (fig. 3) de transmisión acústica dispuesta en el depósito 1 está construida en forma de transmisor acústico plano o de forma de placa 35, en tanto que la matriz 4 de recepción acústica consta de unos elementos acústicos 6 de recepción separados. La activación del transmisor acústico 35 de forma de placa produce unos frentes de onda acústicos aproximadamente planos, de modo que la dirección inicial de los haces acústicos que se extienden perpendicularmente a los frentes de onda acústicos es ya conocida. Por lo tanto, es posible la medición simultánea por parte de todos los elementos acústicos activos 6 de recepción, estando definida la posición final de los ha

ces acústicos. La matriz de recepción acústica consta de 64 a 128 columnas y de 10 filas.

La fig. 5 muestra un depósito 1 en el que se acomodan una matriz 3 de transmisión acústica, que consta de unos elementos acústicos de transmisión 5 separados, y un solo receptor acústico 36 plano o de forma de placa. Los elementos de transmisión acústica 5 separados se activan sucesivamente: por ejemplo, sucesivamente en una fila de matriz, activándose sucesivamente las filas de matriz. La posición inicial y la dirección inicial de los haces acústicos están, pues, definidas. La matriz de transmisión acústica puede constar, por ejemplo, de 64 a 128 columnas y de 10 filas.

Como alternativa, la matriz de transmisión acústica 3 puede constar de algunos millares de columnas y algunos centenares de filas. La resolución y, por tanto, la calidad de las imágenes acústicas reconstruidas se mejora de ese modo. Además, usando un generador adicional 19b (generador de Fresnel, véase la fig. 2), por medio de la unidad de mando 14 y del conmutador electrónico 17 es posible seleccionar unos círculos concéntricos (no representados) de elementos de transmisión acústica 5 activados, para enfocar los haces ultrasónicos, activándose entonces los anillos concéntricos individuales para generar haces ultrasónicos mediante señales eléctricas adecuadamente defasadas. Es posible entonces explorar el cuerpo completo K mediante desplazamiento del círculo en la dirección de las filas o de las columnas. El principio en que se basa este procedimiento está descrito por extenso en la solicitud anterior de patente Nº 473.891.

El depósito 1 representado en la fig. 6 comprende una matriz de transmisión acústica que consta de una sola fila. Los elementos acústicos de transmisión 5 individuales se activan sucesivamente para generar unos impulsos ultrasónicos que llegan a un receptor acústico 36 de forma de placa, situado enfrente o en posición opuesta.

En la fig. 7, la matriz 3 de transmisión acústica y la matriz 4 de recepción acústica constan, cada una, de una sola fila de matriz, siendo cada vez uno o más de los elementos acústicos de recepción capaces de detectar los impulsos ultrasónicos cuando se activa un elemento acústico de transmisión 5. Ambas filas de matriz están situadas al mismo nivel. Mediante desplazamiento del depósito 1 en la dirección longitudinal del árbol rotatorio 9 (flecha 12) es posible reconstruir diferentes capas del cuerpo K (no representado). Los elementos de transmisión acústica 5 transmiten unos haces ultrasónicos desenfocados, de modo que los elementos acústicos de recepción 6 detectan haces ultrasónicos en cualquier caso.

La fig. 8 representa un convertidor acústico 2 cuya matriz de transmisión acústica 3 consta de una columna de matriz con unos elementos individuales 5 de transmisión acústica, en tanto que la matriz 4 de recepción acústica consta de cierto número de elementos acústicos de recepción 6 dispuestos en filas y columnas, estando las filas curvadas. La matriz de recepción acústica 4 consta de un número de 64 a 128 columnas y de 10 filas. El depósito entero 1 tiene forma de cuña y puede hacerse girar en torno al árbol rotatorio 9 (flecha 11) y desplazarse en la dirección longitudinal de éste (flecha 12). Al activarse un

elemento de transmisión acústica 5, es posible activar todos los elementos de recepción acústica 6, cada vez, para una posición angular del depósito 1, de modo que se reduce substancialmente el tiempo de exploración de un cuerpo K.

5 El depósito 1 representado en la fig. 9 está construido en forma de cilindro hueco. En su cara interna hay dispuesto un convertidor acústico anular 2 que comprende cierto número de anillos 6a, situados uno encima de otro, de elementos acústicos de recepción 6 dispuestos adyacente-
10 mente (unos junto a otros). Encima y debajo de los anillos 6a de recepción acústica hay dispuestos unos anillos 5a de transmisión acústica, que constan de unos elementos acústicos de transmisión 5 dispuestos también adyacentemente. El depósito 1 es capaz de girar en torno a su eje de simetría (el árbol rotatorio 9) y de desplazarse en la dirección
15 longitudinal del árbol rotatorio 9. La dirección del haz acústico S puede modificarse sin rotación mecánica del depósito 1, mediante una activación adecuada de los elementos individuales 5 de transmisión acústica que transmiten haces
20 ultrasónicos lobares o en abanico. Por lo tanto, el depósito 1 puede también disponerse sobre cuerpos dados, o partes de un cuerpo, si se tiene la seguridad de que el medio de acoplamiento acústico no puede escapar del depósito 1 y al mismo tiempo toma contacto con el cuerpo K (no representado). A este fin, el depósito 1 puede estar provisto
25 de una hoja o película elástica deformable (en el depósito 1), habiendo un medio de acoplamiento acústico presente entre la hoja, que toma contacto con el cuerpo, y el convertidor acústico 2. Entonces pueden efectuarse exámenes de las mamas de una paciente en posición vertical o ergui-

da.

La fig 10 representa también un depósito 1 en forma de cilindro hueco cuya cara interna da acomodo a varios anillos de recepción acústica 6a dispuestos unos encima de otros y cada uno de los cuales consta de cierto número de elementos 6 de recepción acústica entre los cuales hay unos elementos acústicos de transmisión 5 situados a distancias regulares. Así, en la dirección del árbol rotatorio 9 (eje de simetría) se forman unas columnas de elementos acústicos de transmisión 5 y elementos acústicos de recepción 6. En la fig. 10 se muestran sólo dos columnas de elementos 6 de recepción acústica entre cada dos columnas de elementos 5 de transmisión acústica. En realidad, entre cada dos columnas de elementos de transmisión acústica 5 hay situado un número substancialmente mayor de elementos de recepción acústica 6. No es necesario hacer girar ni desplazar el depósito 1, porque los elementos 5 de transmisión acústica y los elementos 6 de recepción acústica pueden activarse adecuadamente. Los elementos de transmisión acústica 5 separados (por ejemplo, transductores piezoeléctricos) transmiten unos haces acústicos lobares o en abanico que llegan a distintos elementos 6 de recepción acústica, situados en frente u opuestos a aquellos.

La fig. 11 ilustra una forma más sencilla de ejecución del depósito 1 representado en la fig. 10. La pared interna de esta forma de ejecución da acomodo a sólo un anillo 6a de recepción acústica, previéndose unos elementos 5 de transmisión acústica separados, dispuestos entre los elementos acústicos de recepción 6 a cierta distancia mutua en el sentido circunferencial. Este depósito 1,

o el cuerpo K (no representado), debe desplazarse en la dirección longitudinal del árbol rotatorio 9 (eje de simetría), para el examen de distintas capas del cuerpo. En cambio, también puede prescindirse de la rotación del depósito 1.

5

REIVINDICACIONES

Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España, por VEINTE años, son los que se recogen en las reivindicaciones siguientes:

5
10
15
20
25

1ª.- Un método de determinar la estructura interna de un cuerpo por medio de unos haces acústicos que se extienden entre unos elementos de transmisión y de recepción acústica, separados, de un convertidor acústico que al menos en parte rodea al cuerpo, incidiendo en los elementos de recepción acústica unos haces acústicos que han pasado a través del cuerpo en distintas direcciones, usándose los tiempos de tránsito de estos haces acústicos para determinar el índice de refracción acústica en puntos individuales de una matriz de puntos asociada al cuerpo, caracterizado dicho método por el hecho de que, a partir de una distribución de los índices de refracción acústica, preseleccionada en los puntos de la matriz de puntos y que se aproxima a la estructura del cuerpo, teniendo en cuenta la geometría del convertidor acústico, se calcula el trayecto de recorrido a través del cuerpo por lo menos una vez para cada haz acústico, calculándose a partir de éste el tiempo de tránsito del haz, usándose el tiempo de tránsito medido y el calculado de un haz acústico para determinar datos de corrección para la corrección paso a paso o por escalones de los índices de refracción acústica en los puntos de la matriz de puntos.

30

2ª.- El método de la reivindicación 1ª, caracterizado por el hecho de que los haces acústicos que se ex-

tienden en distintas direcciones se usan para determinar la distribución de estructura espacial de un cuerpo tridimensional.

5 3ª.- El método de la reivindicación 1ª o la 2ª, caracterizado por el hecho de que los índices de refracción acústica obtenidos en los puntos de la matriz de puntos se allenan o perfilan, formándose para ello el valor medio ponderado de los índices de refracción acústica próximos o cercanos.

10 4ª.- El método de la reivindicación 1ª o la 2ª, caracterizado por el hecho de que, usando los elementos de recepción acústica, se mide también la intensidad de los haces acústicos individuales, determinándose la intensidad de transmisión en la dirección de la trayectoria de cada haz acústico, teniendo en cuenta el trayecto de los haces acústicos y la característica de transmisión de los elementos de transmisión acústica, usándose dicha intensidad de transmisión para obtener una señal de absorción que es característica de la absorción del haz acústico, determinándose consecutivamente la absorción total a lo largo del trayecto de haz acústico, por lo menos una vez para todos los haces acústicos, a partir de una distribución de los coeficientes de absorción preseleccionada en los puntos de la matriz de puntos tridimensional y que se aproxima a la estructura del cuerpo, obteniéndose unos valores de corrección para la corrección paso a paso o por escalones de los coeficientes de absorción, en los puntos de la matriz de puntos por comparación de la absorción total con las señales de absorción medidas.

25 5ª.- El método de cualquiera de las reivindicaciones

30

ciones 1ª a 4ª, caracterizado por el hecho de que la dirección de los haces acústicos se hace variar mediante rotación del convertidor acústico en torno a un árbol rotatorio, permaneciendo invariable la posición del árbol rotatorio respecto a un cuerpo rodeado por un medio de acoplamiento acústico.

6ª.- El método de cualquiera de las reivindicaciones 1ª a 4ª, caracterizado por el hecho de que la dirección de los haces acústicos se hace variar mediante activación de unos elementos de transmisión acústica y de recepción acústica separados, pertenecientes al convertidor acústico, que se hallan dispuestos alrededor del cuerpo y cuya posición permanece invariable respecto al cuerpo rodeado de un medio de acoplamiento acústico.

7ª.- Un dispositivo para poner en práctica el método de determinar la estructura interna de un cuerpo según cualquiera de las reivindicaciones 1ª a 6ª, y que comprende un convertidor acústico que se va a disponer en torno al cuerpo y que comprende unos elementos de transmisión acústica y de recepción acústica separados, unos medios para la activación selectiva de estos elementos, unos medios para medir el tiempo de tránsito de los haces acústicos entre los elementos de transmisión y los elementos de recepción, y unos medios para calcular los índices de refracción acústica en los puntos de una matriz de puntos asociada al cuerpo, caracterizado dicho dispositivo por tener prevista una primera parte o sección de memoria para el almacenaje de los tiempos de tránsito medidos, una segunda parte o sección de memoria para el almacenaje de unos valores preseleccionados, o de unos valores adaptados a

base de los resultados de medición, de los índices de refracción en los puntos de la matriz, una tercera parte o sección de memoria para el almacenaje de unos valores calculados de los tiempos de tránsito, y una cuarta parte o sección de memoria para el almacenaje de otros datos adicionales, habiendo también prevista una unidad central de tratamiento destinada a calcular los tiempos de tránsito partiendo de la distribución de los índices de refracción acústica, para calcular los datos de corrección partiendo de los tiempos de tránsito medidos y de los tiempos de tránsito calculados, y para calcular los valores corregidos de los índices de refracción a base de éstos.

82.- El dispositivo de la reivindicación 7ª, caracterizado por tener prevista una quinta parte o sección de memoria para el almacenaje de las intensidades de los haces acústicos recibidos y del haz acústico transmitido asociado, una sexta parte o sección de memoria para el almacenaje de la señal de absorción medida derivada de las mismas, una séptima parte o sección de memoria para el almacenaje de unos valores preseleccionados, o de unos valores adaptados a base de los resultados de medición, de los coeficientes de absorción en los puntos de matriz, y una octava parte o sección de memoria para el almacenaje de la absorción calculada a lo largo de cada uno de los trayectos de haz acústico, estando además la unidad central de tratamiento destinada a calcular las señales de absorción medidas partiendo de las intensidades transmitidas y las recibidas, para calcular los valores de la absorción calculada partiendo de la distribución de los coeficientes de absorción, para calcular unos valores de corrección par-

tiendo de los valores de absorción medidos y los calculados, y para calcular unos valores corregidos de los coeficientes de absorción a base de los mismos.

5 9ª.- El dispositivo de la reivindicación 7ª o
la 8ª, que comprende un depósito capaz de girar en torno a
un árbol rotatorio y de desplazarse en la dirección del
árbol rotatorio, y que puede ser llenado de un medio de
acoplamiento acústico antes de la introducción del cuerpo
que se vaya a examinar, caracterizado por el hecho de que
10 el convertidor acústico consta de una matriz plana de trans-
misión acústica y de una matriz plana de recepción acústi-
ca compuestas de elementos de transmisión acústica y de
elementos de recepción acústica separados y adecuadamente
activables, extendiéndose las columnas de matriz y las fi-
15 las de matriz de las mismas paralela y perpendicularmente,
de modo respectivo, con respecto al árbol rotatorio.

20 10ª.- El dispositivo de la reivindicación 9ª,
caracterizado por el hecho de que la matriz de transmisión
acústica consta de un solo transmisor acústico de forma
de placa.

 11ª.- El dispositivo de la reivindicación 9ª,
caracterizado por el hecho de que la matriz de recepción
acústica consta de un solo receptor acústico de forma de
placa.

25 12ª.- El dispositivo de la reivindicación 11ª,
caracterizado por el hecho de comprender un generador acti-
vable para la formación de transmisores acústicos para trans-
mitir haces acústicos enfocados, consistiendo dichos trans-
misores en unos círculos concéntricos de elementos de
30 transmisión acústica separados, desplazables en la direc-

ción de las filas y en la dirección de las columnas.

5 13ª.- El dispositivo de la reivindicación 9ª, caracterizado por el hecho de que la matriz de recepción acústica consta de un solo receptor acústico de forma de placa, consistiendo la matriz de transmisión acústica en una fila de matriz que comprende varios elementos de transmisión acústica.

10 14ª.- El dispositivo de la reivindicación 9ª, caracterizado por el hecho de que la matriz de transmisión acústica y la matriz de recepción acústica constan cada vez de una fila de matriz de elementos individuales de transmisión acústica y de recepción acústica, respectivamente, desplazables en la dirección del árbol rotatorio.

15 15ª.- El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 7ª u 8ª, que comprende un depósito capaz de girar en torno a un árbol rotatorio y de desplazarse en la dirección del árbol rotatorio, y que puede ser llenado de un medio de acoplamiento acústico antes de la introducción del cuerpo que se vaya a examinar, caracterizado por
20 el hecho de que el convertidor acústico consta de unos elementos de transmisión acústicos situados unos encima de otros en la dirección del árbol rotatorio y que generan unos haces acústicos en abanico, y de una matriz bidimensional de recepción acústica que consta de unos elementos
25 de recepción acústica separados, cuyas columnas de matriz se extienden paralelamente respecto al árbol rotatorio y cuyas filas de matriz están curvadas al menos en parte en torno al árbol rotatorio.

30 16ª.- El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 7ª u 8ª, que comprende un depósito capaz de

girar por encima del árbol y de desplazarse en la dirección del árbol rotatorio, y que puede ser llenado de un medio de acoplamiento acústico antes de la introducción del cuerpo que se vaya a examinar, caracterizado por el hecho de que los elementos de recepción acústica del convertidor acústico están dispuestos en anillo y situados unos encima de otros en la dirección del árbol rotatorio, con el fin de formar un cilindro hueco que dé acomodo al cuerpo que se va a examinar, habiendo unos anillos de transmisión acústica, formados de igual manera que los anillos de recepción acústica, situados encima y debajo de los anillos de recepción acústica.

17ª.- El dispositivo de la reivindicación 16ª, caracterizado por el hecho de que los elementos de transmisión acústica separados, situados unos encima de los otros, se hallan dispuestos en los anillos de recepción acústica a cierta distancia uno de otro en sentido circunferencial.

18ª.- El dispositivo de la reivindicación 17ª, caracterizado por el hecho de que el convertidor acústico consta de un solo anillo de elementos de recepción acústica situados unos al lado de otros, entre los cuales hay dispuestos unos elementos de transmisión acústica separados a cierta distancia uno de otro en sentido circunferencial, siendo el convertidor acústico desplazable en la dirección del árbol rotatorio.

19ª.- Un método y un dispositivo para determinar la estructura interna de un cuerpo.

Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en los dibujos que se acompañan y

para los fines que se han especificado.

Esta Memoria consta de cuarenta hojas escritas
a máquina por una sola de sus caras.

Madrid, 27 JUL 1979

P.A.

Alberto de Elzabury
Por Poder,



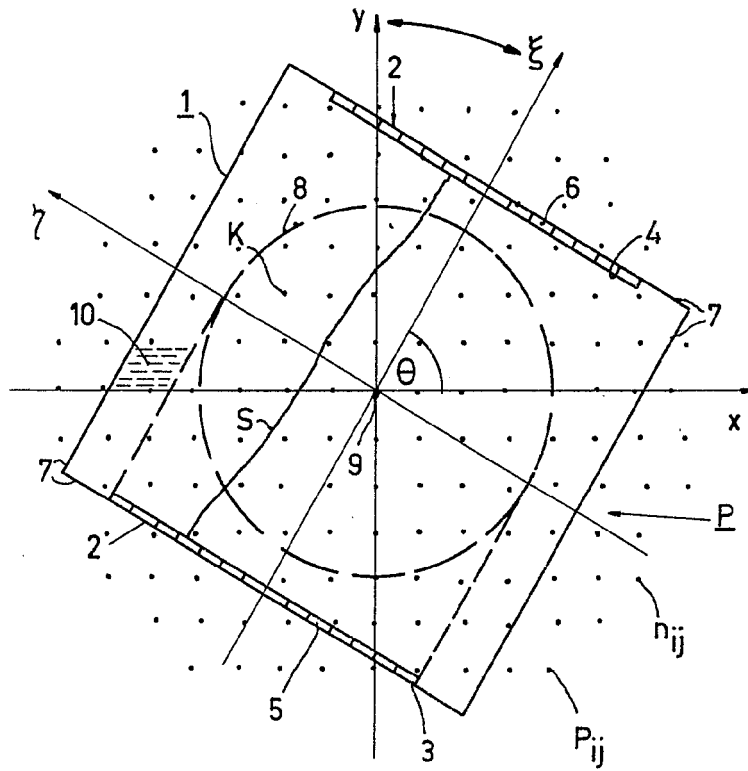


FIG.1

Albino de Elaburu
For Paper
1-VI-PHD 78-085

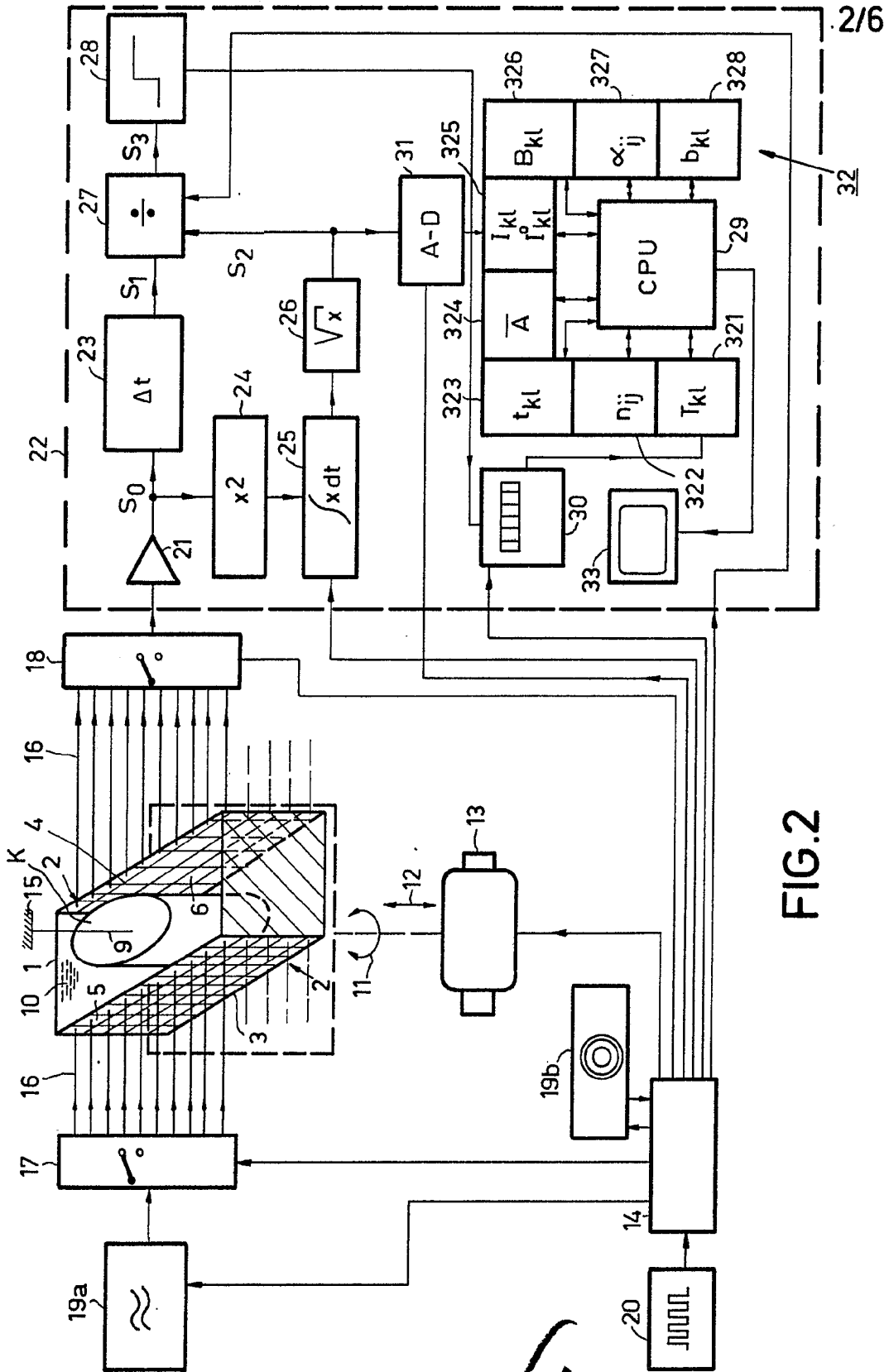


FIG. 2

Albert de Vries 2-VI-PHD 78-085
 For Power

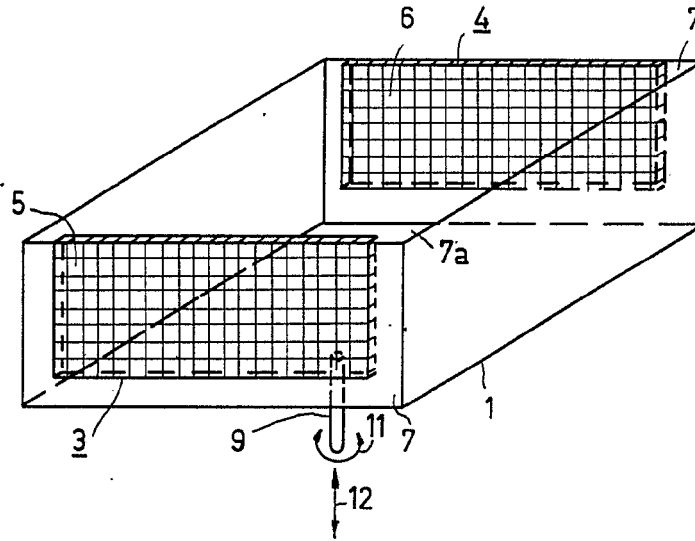


FIG. 3

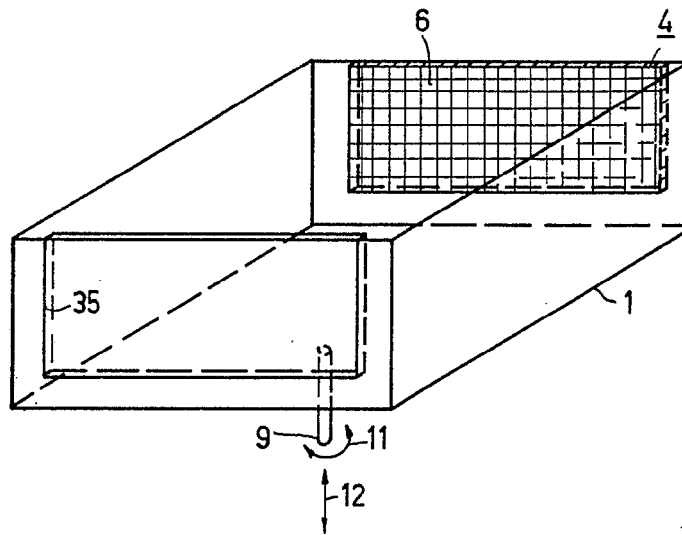


FIG. 4

Alberto de Izaburo
 Por Por
 3-VI-PHD-78-085

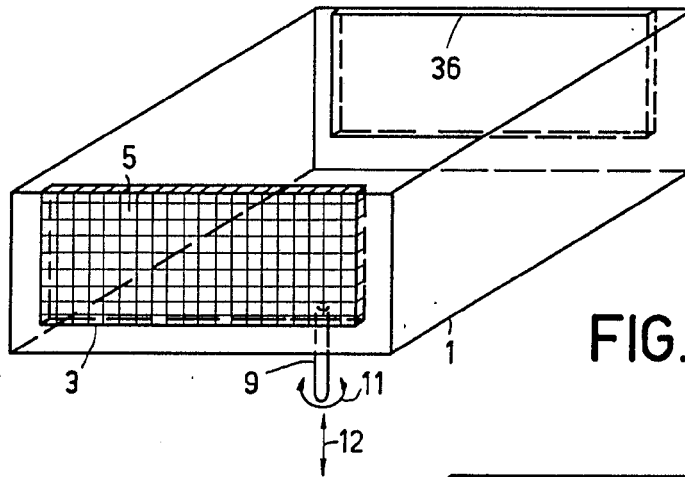


FIG. 5

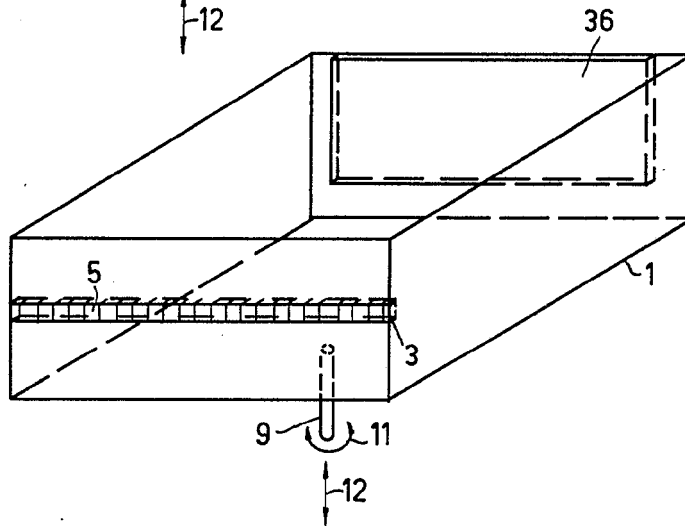


FIG. 6

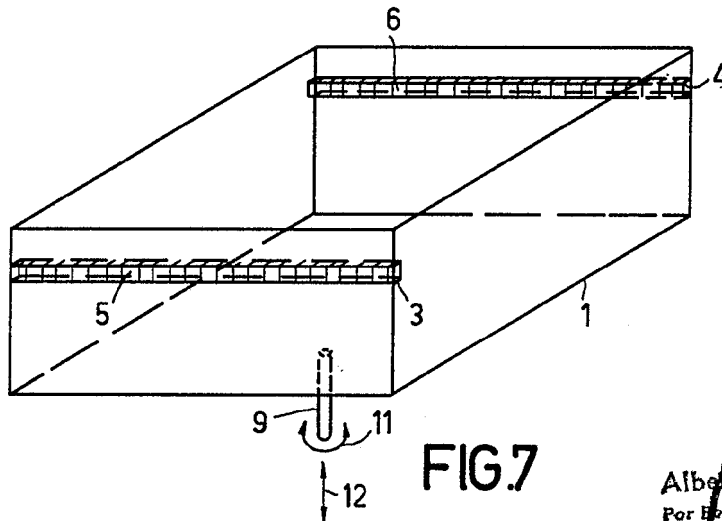
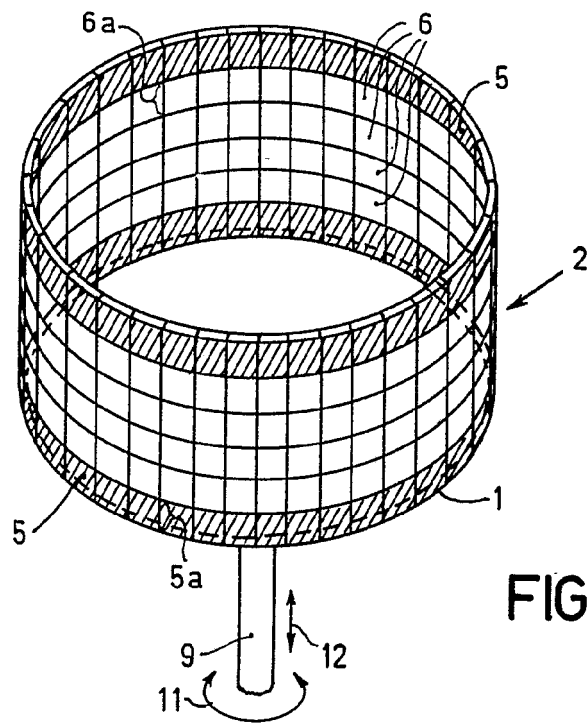
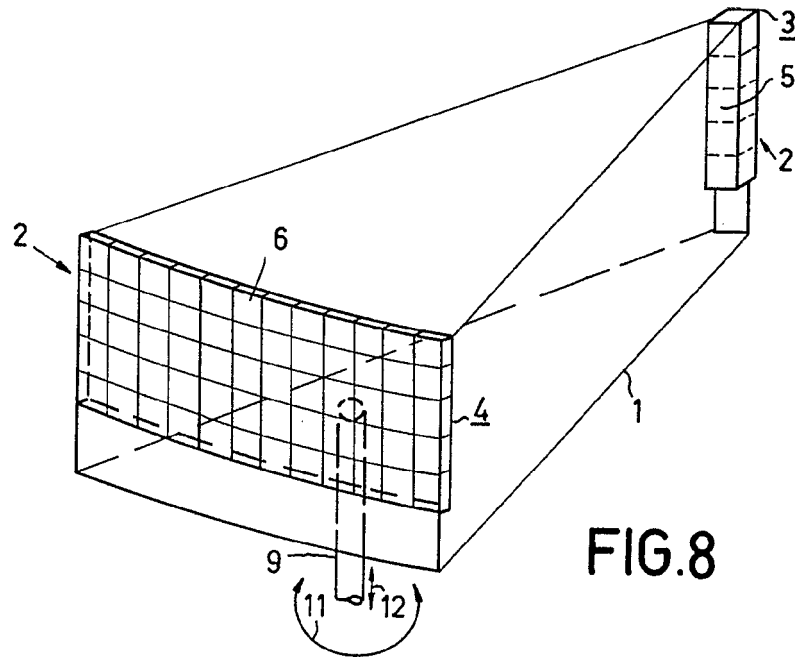


FIG. 7

Alberto E. Elizabury
Por El Encapsulamiento
Al
4-VI-PHD 78-085

5/6



Alberto de Elzaburu
For Patent,
5-VI-PHD 78-085

6/6

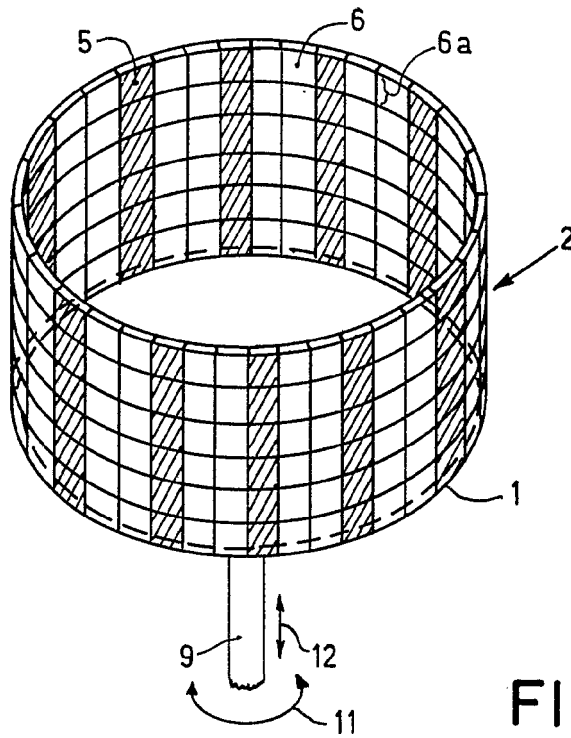


FIG. 10

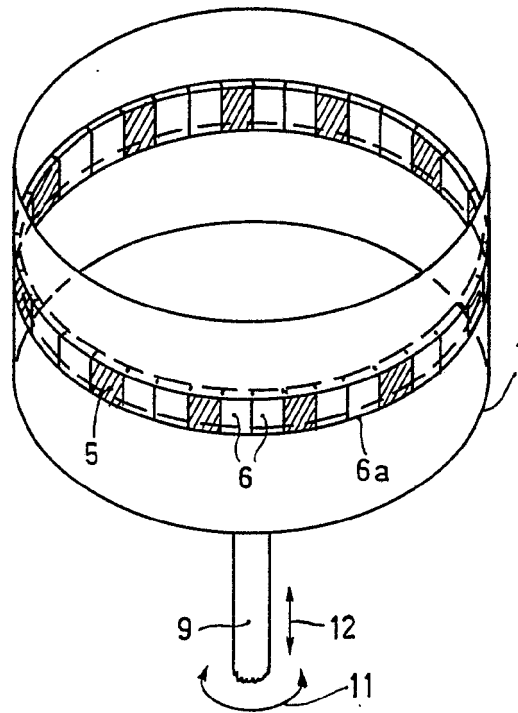


FIG. 11

Alberto Elzaburo
Per Rodas

6 -VI- PHD 78-085