



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 344 391**

② Número de solicitud: 200802331

⑤ Int. Cl.:
A61B 5/055 (2006.01)
G01R 33/56 (2006.01)
G01R 33/3415 (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑫ Fecha de presentación: **05.08.2008**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **25.08.2010**

⑭ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
25.08.2010

⑰ Solicitante/s: **Universidad de Sevilla
OTRI-Pabellón de Brasil
Paseo de las Delicias, s/n
41013 Sevilla, ES**

⑱ Inventor/es: **Marqués Sillero, Ricardo y
Freire Rosales, Manuel José**

⑳ Agente: **No consta**

⑳ Título: **Dispositivo para mejorar la sensibilidad de las bobinas receptoras en imágenes médicas por resonancia magnética.**

㉑ Resumen:

Dispositivo para mejorar la sensibilidad de las bobinas receptoras en imágenes médicas por resonancia magnética.

La presente invención tiene por objeto un dispositivo para mejorar la sensibilidad de las bobinas de superficie que se usan en la obtención de imágenes mediante resonancia magnética (RM) para aplicaciones médicas. Dicho dispositivo consta de un elemento focalizador del campo magnético, una bobina receptora y un circuito electrónico de adaptación al sistema de medida, con el que se consigue aumentar la capacidad de obtener imágenes profundas mediante dichas bobinas de superficie, o asimismo aumentar la calidad de las imágenes que se obtendrían habitualmente a partir de dichas bobinas, o asimismo disminuir el tiempo de adquisición de las mismas.

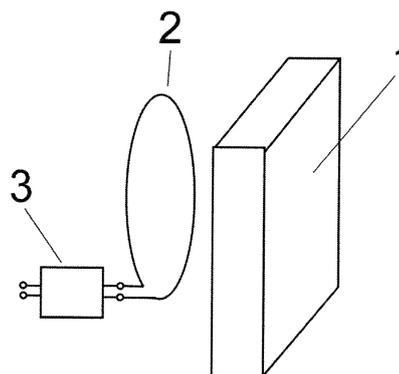


Fig. 1

ES 2 344 391 A1

DESCRIPCIÓN

Dispositivo para mejorar la sensibilidad de las bobinas receptoras en imágenes médicas por resonancia magnética.

5 **Objeto de la invención**

La presente invención tiene por objeto un dispositivo para mejorar la sensibilidad de las bobinas de superficie que se usan en la obtención de imágenes mediante resonancia magnética (RM) para aplicaciones médicas. Dicho dispositivo consta de un elemento focalizador del campo magnético, una bobina receptora y un circuito electrónico de adaptación al sistema de medida, con el que se consigue aumentar la capacidad de obtener imágenes profundas mediante dichas bobinas de superficie, o asimismo aumentar la calidad de las imágenes que se obtendrían habitualmente a partir de dichas bobinas, o asimismo disminuir el tiempo de adquisición de las mismas.

15 **Estado de la técnica**

La obtención de imágenes médicas por RM es una técnica muy extendida en la actualidad. Se basa en la aplicación sucesiva de pulsos de radiofrecuencia sobre un tejido ya magnetizado por un campo magnético estático de gran intensidad. La aplicación de dichos campos permite, mediante un adecuado procesamiento de la señal, identificar la localización espacial de los espines nucleares y, de ese modo, obtener una imagen del objeto de estudio.

Cuando se está interesado en obtener imágenes de una zona corporal específica del paciente, resulta útil recurrir a bobinas de superficie [M.R. Bendall, "Surface Coil Technology". in *Magnetic Resonance Imaging*, ed. by C.L. Partain, R.R. Price, J.A. Patton, M.V. Kulkarni, A.E. James, Saunders, Philadelphia, 1988] cuya capacidad para captar imágenes profundas depende típicamente de su tamaño: a mayor tamaño mayor sensibilidad. Ello es debido a que las líneas del campo magnético producido por la bobina de superficie tienden a dispersarse a medida que se alejan de la bobina, con lo que disminuye la sensibilidad de ésta, así como su capacidad de localización espacial.

Una forma de evitar la dispersión espacial de dichas líneas de campo es intercalar entre la bobina y el cuerpo del paciente un dispositivo capaz de focalizar dichas líneas de campo. En una reciente publicación [R. Marqués *et al* "Theory of three dimensional sub-diffraction imaging" *Appl Phys. Lett.*, vol. 89, 21113 (2006)] se ha demostrado que es posible focalizar las líneas del campo electromagnético mediante dispositivos artificiales, obteniéndose un haz focalizado. De acuerdo con el Teorema de Reciprocidad de Lorentz, el incremento de la sensibilidad de una bobina de superficie a la que se le ha acoplado uno de estos dispositivos es igual a la capacidad de focalización de dicho dispositivo.

Existen diversos dispositivos capaces teóricamente de producir esta focalización del campo magnético. En 2000, J. Pendry [J. Pendry "Negative refraction makes perfect lens", *Phys. Rev. Lett.*, vol. 85, 3967-3970 (2000)] demostró que una lámina de espesor d de un hipotético medio con permitividad relativa $\epsilon_r = -1$ y permeabilidad relativa $\mu_r = -1$ era capaz de focalizar el campo electromagnético de modo que cualquier distribución de campo se reproducía a una distancia $2d$ al otro lado de la lámina.

Un medio artificial con ϵ_r y μ_r simultáneamente negativos (y, eventualmente, con $\epsilon_r = -1$ y $\mu_r = -1$) fue patentado por D. Smith *et al.* [Int. App. Number: PCT/US01/08563] y publicado también en el año 2000 [D. Smith *et al.* "Composite Medium with Simultaneously Negative Permeability and Permittivity", *Phys. Rev. Lett.*, vol. 84, 4184-4188 (2000)]. No obstante, las frecuencias normalmente usadas en la adquisición de imágenes médicas por RM posibilitan tratar independientemente el campo eléctrico y el campo magnético, de modo que para este propósito sólo sería necesaria una lámina con $\mu_r = -1$. Esta posibilidad fue demostrada usando láminas de ferrita, que poseen una zona de permeabilidad negativa cerca de la frecuencia de resonancia ferrimagnética, en [Marqués *et al.* "Near-field enhanced imaging by a magnetized ferrite slab", *Appl. Phys. Lett.* Vol. 86, 023505 (2005)]. No obstante, en RM no es posible usar materiales ferrimagnéticos, por lo que esta realización resulta del todo inapropiada para la aplicación deseada.

Recientemente, se ha reportado un dispositivo basado en un principio físico diferente, capaz también de producir la focalización del campo magnético bajo ciertas circunstancias [M. Freire *et al.* "Planar magnetoinductive lens for three-dimensional subwavelength imaging", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 86, 182505 (2005)]. Dicho dispositivo, llamado "lente magnetoinductiva", tiene un comportamiento similar al de la mencionada lámina de $\mu_r = -1$, aunque su diseño sólo involucra dos láminas paralelas de resonadores magnéticos.

60 **Descripción de las figuras**

En la Fig. 1 se representa un esquema del dispositivo. En éste aparece el dispositivo focalizador (1), la bobina receptora (2) y el circuito de adaptación (3).

En la Figura 2 se representa un esquema de la realización preferida del dispositivo focalizador, constituido por un arreglo tridimensional (en red cúbica simple) de resonadores con forma de espira circular (el elemento capacitivo se representa por un corte en la espira).

En la Figura 3, de modo meramente descriptivo y sin ánimo de ser exhaustivos, se representan algunos de los resonadores que podrían utilizarse para realizar el dispositivo focalizador de la Fig. 2. Se trata de una espira con un condensador conectado en serie (4), de un par de tiras metálicas en forma de anillo, cortadas y apiladas de modo conveniente (5) y de una modificación del diseño anterior en la que ambas tiras se conectan para formar una hélice (6), de manera que el acoplo capacitivo entre los anillos (4) y (5) proporcionan una capacidad distribuida que sustituye al condensador.

En la Figura 4 se representa un esquema de la bobina receptora de la realización preferida, formada por una simple espira circular.

En la Figura 5 y sin ánimo de ser exhaustivo se representa el esquema de un posible circuito de adaptación.

Finalmente, en la figura 6 se representa una simulación electromagnética de la sensibilidad de una espira circular con y sin el elemento focalizador que, a efectos de la simulación, se supone un medio efectivo de permeabilidad relativa $\mu_r = -1$. La sensibilidad es directamente proporcional al valor del campo magnético creado por una corriente de módulo unidad sobre la espira. Así, el eje vertical de coordenadas en las figuras corresponde al cálculo del campo magnético axial normalizado producido por una bobina de 3 pulgadas de diámetro, con y sin el elemento localizador, cuando una corriente de módulo unidad fluye por la bobina. El eje horizontal corresponde a la distancia en centímetros medida a lo largo del diámetro de la bobina con el origen de coordenadas en el centro de la bobina. La bobina se halla situada a 4 centímetros de un plano de referencia que podría representar la piel del paciente en un experimento de resonancia magnética. En las figuras se muestra el valor del campo para distintas distancias en centímetros a este plano de referencia. Puede observarse como la presencia del elemento focalizador aumenta la intensidad del campo magnético y, por tanto, la sensibilidad de la espira, en el interior del cuerpo del paciente.

Descripción de la invención

La invención consta de:

- El dispositivo de focalización
- Una bobina receptora de superficie, cuyo objeto es recibir la señal de radiofrecuencia procedente de los espines nucleares
- El circuito de adaptación entre la bobina y el aparato de medida.

Todos estos elementos se disponen en orden directo a partir del cuerpo del paciente, de modo que la bobina sea el elemento más externo, y se conecta a una máquina y a un sistema de medida de RM convencionales.

Pasemos en primer lugar a considerar las diversas posibilidades para realizar el dispositivo de focalización. En primer lugar consideraremos la posibilidad de realizar un medio con $\mu_r = -1$ apropiado para la aplicación que se considera. Es importante señalar que es preciso obtener las propiedades magnéticas que se desean a partir de elementos no magnéticos que no interfieran con los fuertes campos magnéticos estáticos que se utilizan en RM. En principio cualquier colección de resonadores que proporcionen bucles cerrados corriente podrían ser útiles para nuestro propósito. Sin embargo, a las frecuencias de operación en RM para aplicaciones médicas, la longitud de onda electromagnética es de varios metros, mientras que las bobinas de superficie no pueden tener un tamaño superior a unas decenas de centímetros. Por tanto, el dispositivo que se pretende obtener ha de tener una escala de detalle no superior a algunos centímetros. Ello obliga a que el tamaño eléctrico de los elementos del medio artificial deba ser del orden de 1/100 o aún menor, lo que constituye una restricción bastante fuerte para el diseño de dichos elementos. Una buena solución es usar anillos metálicos con un condensador conectado en serie. Dichos elementos fueron ya propuestos por Shelkunoff and Friis en 1952 [S. A. Schelkunoff and T. H. Friis *Antennas. Theory and practice*, Wiley, New York, 1952] para obtener medios artificiales con una elevada respuesta magnética. En nuestro caso, la capacidad y la autoinducción del elemento deben sintonizarse de modo que la frecuencia de resonancia del mismo quede algo por debajo de la frecuencia de operación de la RM. De ese modo puede conseguirse, mediante un cuidadoso proceso de sintonía, que el medio artificial presente una permeabilidad efectiva $\mu_r = -1$ a la frecuencia de obtención de las imágenes de RM. El mismo tipo de elementos puede aplicarse al diseño de las "lentes magnetointductivas" mencionadas más arriba.

El uso de condensadores se traduce inevitablemente en un cierto nivel de pérdidas. Para evitar esto cuando se requieran altas *ratios* señal - ruido, es posible recurrir a un resonador compuesto por dos anillos conductores o superconductores cortados y apilados, según el diseño propuesto por Black en 1994 [R. D. Black *et al.* "Electronics for a High Temperature Superconducting system for Magnetic Resonance Microimaging" IEEE Transactions on Biomedical Engineering. vol. 41, 195-197 (1994)]. U otra topología de parecidas prestaciones, capaz de ofrecer tamaños eléctricos en la resonancia tan pequeños como los referidos más arriba.

La bobina receptora es una simple espira, o colección de espiras, de bajas pérdidas (opcionalmente súper-conductoras) adaptada a la impedancia de entrada del sistema de medida, que puede ser un sistema de RM convencional. Para ello debe contar con un circuito de adaptación de impedancias, que lo adapte a la impedancia de entrada del sistema de medida, que normalmente será de 50 Ω .

Finalmente debe mencionarse que el dispositivo focalizador puede combinarse con varias bobinas de recepción como la descrita en el marco de un sistema de adquisición de imágenes en paralelo (*parallel imaging*) [R. M. Heideman *et al.* "A brief Review of parallel magnetic resonance imaging" *Eur. Radiology*, vol. 13, 2323-2337 (2003)] resultando en un incremento en la resolución espacial y/o la sensibilidad de dichas bobinas.

5

Descripción de una realización preferida

La realización preferida sigue el esquema de la Figura 1. Los elementos del dispositivo focalizador son resonadores formados por anillos metálicos impresos, con un condensador conectado en serie (4). Dichos elementos se disponen de acuerdo con una red cúbica, tal y como se muestra en la Figura 2. Para la realización de las medidas el dispositivo focalizador se coloca directamente sobre el paciente, sobre la zona de su cuerpo que se quiere estudiar, aplicándose entonces una secuencia convencional de campos magnéticos de radiofrecuencia.

10

La bobina de recepción, cuyo esquema se muestra en la Figura 4, se ha de colocar sobre el dispositivo focalizador y conectarse a la salida con el circuito de adaptación. El circuito de adaptación puede consistir en esencia en un condensador variable conectado en paralelo con la bobina para sintonizar ésta a una frecuencia de resonancia que coincida con la frecuencia de emisión de los espines nucleares y un condensador en serie para adaptar el circuito global a la impedancia característica del sistema de medida y garantizar así la máxima transferencia de potencia [R. R. Edelman *et al.*, "Surface coil MR imaging of abdominal viscera", *Mag. Res.*, vol. 157, 425, (1985)]. Si se desea poner la bobina muy próxima al dispositivo focalizador, es posible modificar este circuito simple de acuerdo con el circuito de la realización preferida (Fig. 5), en el cual la adecuada sintonía de los condensadores C_1 y C_2 permite seleccionar tanto la impedancia de la bobina vista desde el sistema de medida, como la impedancia vista desde la espira, de modo que se mejore la adaptación entre la espira, el dispositivo focalizador y el sistema de medida. Otros circuitos de adaptación pueden ser diseñados de acuerdo con este u otros propósitos. Finalmente, puede ser también deseable modular los elementos del dispositivo focalizador (y/o sintonizar externamente sus características) para mejorar la adaptación entre éste y el sistema de medida.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

5 1. Dispositivo para mejorar la sensibilidad de las bobinas receptoras en imágenes médicas por resonancia magnética **caracterizado** porque consta de:

- 10 a) un elemento focalizador del campo magnético colocado directamente sobre el paciente que consta de una colección de resonadores, preferentemente formados por anillos metálicos impresos con un condensador conectado en serie, dispuestos de acuerdo con una red cúbica.
- 15 b) una ó más bobinas receptoras de superficie colocadas sobre el elemento focalizador, preferentemente formadas por una simple espira circular ó colección de espiras de bajas pérdidas adaptadas a la impedancia del aparato de medida.
- c) un circuito de adaptación de impedancias entre la bobina y el aparato de medida.

20 2. Dispositivo para mejorar la sensibilidad de las bobinas receptoras en imágenes médicas por resonancia magnética según reivindicación 1 **caracterizado** porque los resonadores del elemento focalizador están formados por un par de tiras metálicas en forma de anillo, cortadas y apiladas ó conectadas formando una hélice, de manera que el acoplo capacitivo entre los anillos proporciona una capacidad distribuida que sustituye al condensador descrito en la reivindicación anterior.

25

30

35

40

45

50

55

60

65

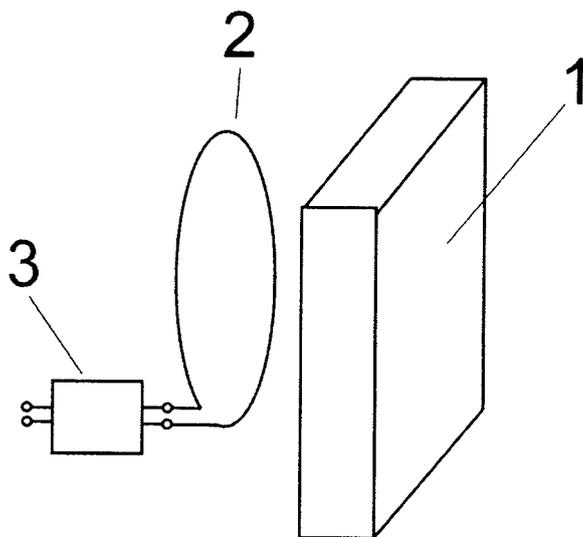


Fig. 1

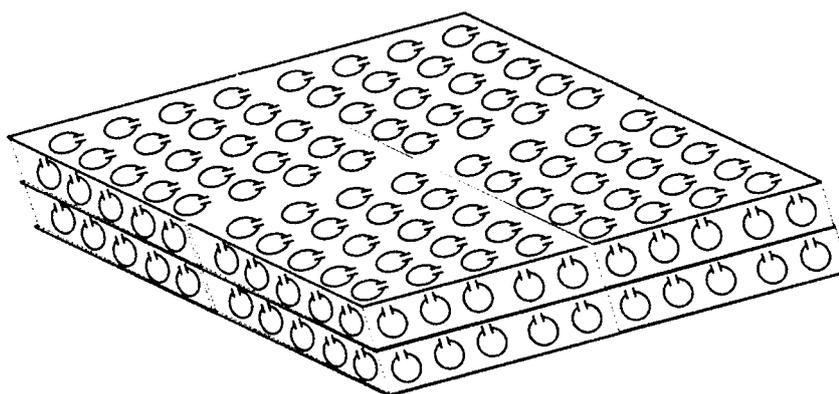


Fig. 2

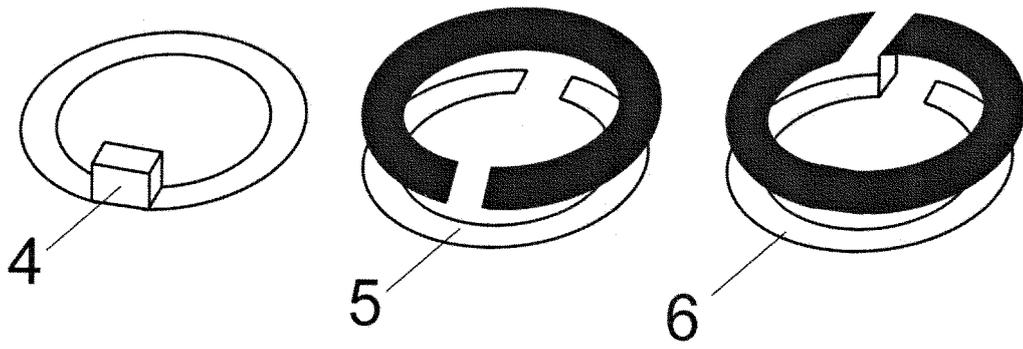


Fig. 3

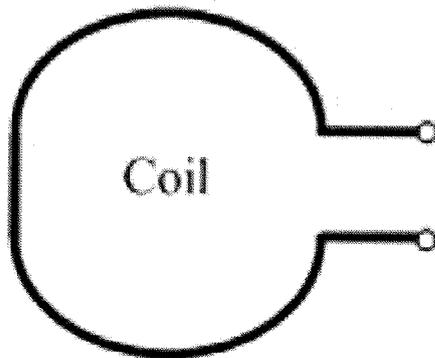


Fig. 4

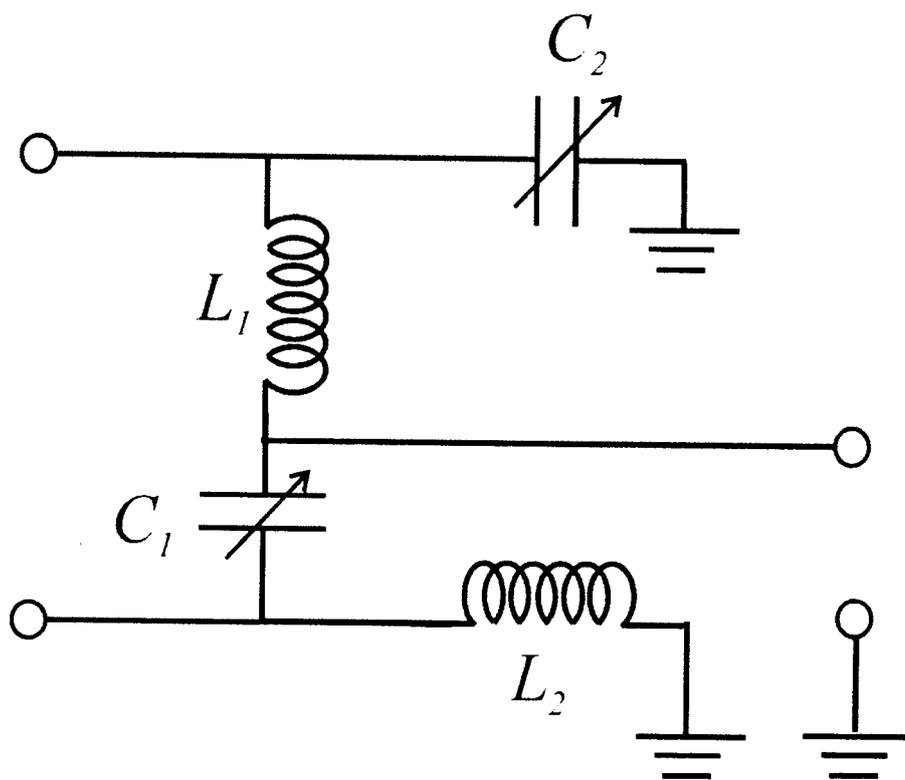


Fig. 5

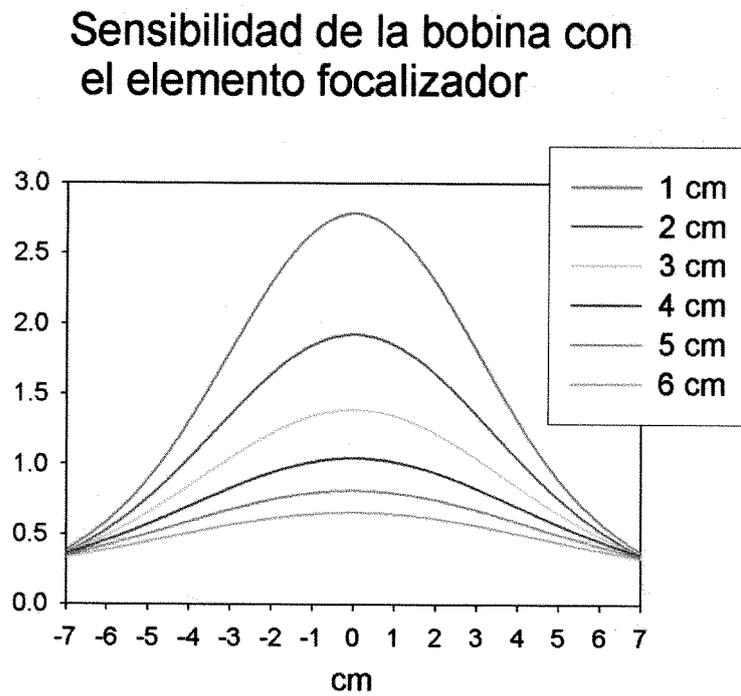
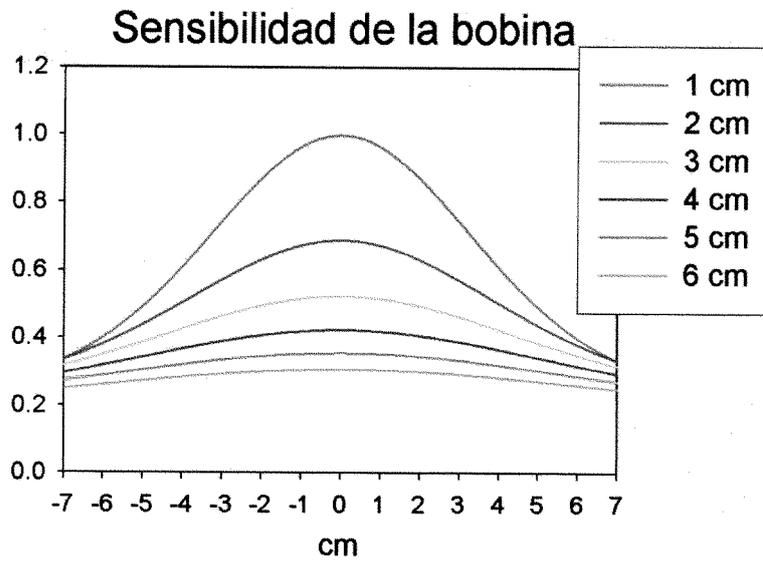


Fig. 6



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① ES 2 344 391

② Nº de solicitud: 200802331

③ Fecha de presentación de la solicitud: 05.08.2008

④ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤ Int. Cl.: Ver hoja adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	US 2003155919 A1 (MARCONI CASWELL LTD) 21.08.2003, párrafos [0002],[0011-0012],[0024],[0033],[0035],[0039]; reivindicaciones 13-14,19; figura 3.	1-2
X	WO 03044897 A1 (MARCONI CORP PLC) 30.05.2003, página 9, líneas 12-22; página 16, línea 22 - página 17, línea 5; figuras 1,7.	1-2
X	ES 2264361 A1 (UNIV SEVILLA) 22.11.2006, todo el documento.	1-2
A	US 2006145787 A1 (IND TECH RES INST) 06.07.2006, párrafos [19-30]; figuras 5-12.	1-2
A	US 2001038325 A1 (UNIV CALIFORNIA) 08.11.2001, descripción; figuras.	1-2

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe

06.08.2010

Examinador

E. Pina Martínez

Página

1/4

CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

A61B 5/055 (2006.01)

G01R 33/56 (2006.01)

G01R 33/3415 (2006.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

A61B, G01R

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 06.08.2010

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-2	SÍ
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones	SÍ
	Reivindicaciones 1-2	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de **aplicación industrial**. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión:

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como ha sido publicada.

1. Documentos considerados:

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	US 2003155919 A1	21-08-2003
D02	WO 03044897 A1	30-05-2003

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

Se considera D01 el documento del estado de la técnica anterior más próximo al objeto reivindicado. Este documento afecta a la actividad inventiva de las reivindicaciones, tal y como se explica a continuación:

Reivindicación 1

Siguiendo la terminología empleada en la reivindicación 1, el documento D01 describe lo siguiente (las referencias entre paréntesis se refieren a D01):

Dispositivo para mejorar la sensibilidad de las bobinas receptoras en imágenes médicas por resonancia magnética que consta de:

- a) un elemento focalizador (3) del campo magnético colocado sobre el paciente, que consta de una colección de resonadores (párr. 12)
- b) una bobina receptora (14) colocada sobre el elemento focalizador.

La principal diferencia entre lo descrito en D01 y lo reivindicado en la solicitud reside en la disposición de los resonadores en una red cúbica. El efecto técnico de esta disposición sería la de la detección del campo magnético en las tres dimensiones del espacio y su implementación en el dispositivo reivindicado sería obvia para el experto en la materia, más aún al tratarse de una configuración ampliamente conocida y utilizada en el estado de la técnica relacionado (ver por ejemplo, el documento D02, fig. 7)

En cuanto al circuito de adaptación de impedancias se considera un elemento suficientemente conocido y ampliamente utilizado en el estado de la técnica, que si bien no se describe explícitamente en el dispositivo de D01, su incorporación en éste se presupone.

Por todo ello, se considera que la reivindicación independiente carece del necesario requisito de actividad inventiva, según lo dispuesto en el Art. 8.1 LP.

Reivindicación 2

La configuración de los resonadores en forma de anillo reivindicada es ampliamente conocida en el sector de la técnica relacionado (ver por ejemplo el documento D02), estando además contenida en el texto de la descripción de D01 (párr. 2), por referencia a la solicitud de patente WO0041270.

Asimismo, esta reivindicación carece del requisito de actividad inventiva (Art. 8.1 LP).

En conclusión, a la vista del estado de la técnica anterior, la solicitud no satisface los requisitos de patentabilidad establecidos en el Art. 4.1 LP.