

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 940 892**

51 Int. Cl.:

A61F 2/04 (2006.01)

A61N 1/40 (2006.01)

A61N 2/02 (2006.01)

A61N 2/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.03.2016 PCT/JP2016/060492**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.10.2016 WO16159139**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.03.2016 E 16773020 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.03.2023 EP 3278764**

54 Título: **Dispositivo de bobina para su uso en dispositivo de estimulación magnética transcraneal**

30 Prioridad:

02.04.2015 US 201562142380 P

29.04.2015 US 201562154295 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.05.2023

73 Titular/es:

THE UNIVERSITY OF TOKYO (50.0%)

3-1, Hongo 7-chome, Bunkyo-ku

Tokyo 113-8654, JP y

OSAKA UNIVERSITY (50.0%)

72 Inventor/es:

SAITOH, YOUICHI;

SEKINO, MASAKI y

YAMAMOTO, KEITA

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 940 892 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

Dispositivo de bobina para su uso en dispositivo de estimulación magnética transcraneal

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un aparato de bobina para su uso en un aparato de estimulación magnética transcraneal, un método de fabricación del aparato de bobina, un aparato de estimulación magnética transcraneal que incluye el aparato de bobina para su uso en el aparato de estimulación magnética transcraneal, y un método para fabricar el aparato de estimulación magnética transcraneal.

Antecedentes de la técnica

La estimulación magnética transcraneal (EMT) es un método de tratamiento indoloro y no invasivo para estimular los nervios craneales.

La figura 1 es una vista en perspectiva que muestra una estructura ilustrativa de un sistema de estimulación magnética transcraneal representativo de la técnica anterior. Al realizar el *tratamiento*, como se muestra en la figura 1, hay una bobina de estimulación en contacto con la superficie de la cabeza en una posición adecuada y se hace que se genere instantáneamente un campo magnético. Así, el campo eléctrico inducido estimula las células nerviosas del cerebro ubicadas inmediatamente debajo de las bobinas. El campo magnético generado por la bobina induce un campo eléctrico *in vivo* gracias a la inducción electromagnética, y esto deriva en que los nervios situados en el cerebro se despolaricen.

La estimulación magnética transcraneal se ha utilizado principalmente para el cartografiado cerebral funcional del área motora y otras similares, como medio para estimular los nervios craneales de forma no invasiva y sin dolor. Además, en los últimos años se han llevado a cabo activamente estudios clínicos claramente enfocados en el tratamiento de trastornos neurológicos como dolores, la enfermedad de Parkinson y la depresión o en la valoración de la médula espinal y neuropatías periféricas. En relación con tales trastornos neurológicos, en algunos casos clínicos las terapias farmacológicas no tienen mucho éxito. Por consiguiente, la estimulación magnética transcraneal ha ido ganando importancia como terapia respetuosa con el paciente sustituyendo a los tratamientos de estimulación eléctrica asociados a los procedimientos de craneotomía. Como ejemplo, se informó de que la aplicación de estimulación magnética en el área motora primaria del cerebro con dolores neuropáticos resistentes al tratamiento alivió el dolor del paciente durante aproximadamente un día.

Como se muestra en la figura 1, que muestra esquemáticamente una estructura representativa ilustrativa, un sistema de estimulación magnética transcraneal 1 (de aquí en adelante, también denominado "un sistema de estimulación magnética", "un aparato de estimulación magnética transcraneal", "un sistema de terapia de estimulación magnética transcraneal" o "un sistema de estimulación magnética transcraneal") está configurado para incluir, por lo general, una bobina de estimulación 2 (medios de generación de campo magnético) y un aparato de control de estimulación magnética 6 conectado eléctricamente a la bobina de estimulación 2 a través de un cable 4, y destinado a curar y/o aliviar los síntomas de un paciente M sentado en una silla de terapia 8, mediante la aplicación de estimulación magnética a una intensidad predeterminada en los nervios craneales usando la bobina de estimulación 2 dispuesta en la superficie del cuero cabelludo del paciente M.

En la estructura ilustrativa del sistema representativo que se muestra en la figura 1, un soporte de bobina 10 que incluye la bobina 2 está fijado en la porción de punta de un fijador de soporte 11 (medio de retención de la posición). El fijador de soporte 11 está configurado para incluir una barra 11a y una base 11b, y una parte del poste 11a (cerca de la punta del fijador de soporte 11) está formada por un tubo flexible de metal 11c. Por consiguiente, la bobina 2 se puede fijar en la posición óptima para la bobina simplemente con el soporte de bobina 10, que se desplaza a una posición predeterminada en la superficie del cuero cabelludo del paciente M. Cabe señalar que el sistema de estimulación magnética transcraneal no se limita a la estructura que se muestra en la figura 1 y puede estar estructurado de otra manera.

La bobina de estimulación 2 genera un campo magnético dinámico para aplicar estimulación magnética en al menos un sitio específico del cerebro del paciente M. La bobina de estimulación 2 puede ser cualquiera de varias bobinas magnéticas conocidas. En el sistema de estructura representativa ilustrativa que se muestra en la figura 1, la bobina de estimulación 2 es una denominada bobina en espiral con forma de ocho configurada para incluir dos bobinas en espiral dispuestas en un plano idéntico para formar la figura de un "ocho". Con la bobina de estimulación de este tipo, cuando una corriente fluye a través de las dos bobinas en una dirección idéntica (por ejemplo, en la dirección representada por una flecha), se puede obtener inmediatamente la máxima densidad de corriente inducida debajo de la porción donde las bobinas se superponen entre sí. La bobina de estimulación (bobina magnética) 2 de este tipo es adecuada para proporcionar una estimulación localizada en la corteza cerebral diana de la estimulación.

De forma similar, en la estructura del sistema representativo que se muestra en la figura 1, el aparato de control de estimulación magnética 6 controla el suministro de impulsos de corriente que van hacia la bobina de estimulación 2.

El aparato de control de estimulación magnética 6 puede tener cualquiera de las diversas estructuras conocidas. El usuario enciende/apaga el aparato de control de estimulación magnética 6. Así mismo, el usuario también puede configurar la intensidad del pulso de corriente, la forma de onda del pulso y valores similares que determinen la intensidad o el ciclo de la estimulación magnética.

La aplicación de estimulación localizada precisa desde la bobina dispuesta en la superficie del cuero cabelludo del paciente hasta los nervios craneales inmediatamente debajo de la bobina logra un mayor efecto de alivio del dolor. Por consiguiente, en contextos médicos, la disposición y posición óptimas de la bobina 2, que minimiza el dolor neuropático del paciente, se determinan mediante el uso de un aparato de posicionamiento especializado en la exploración clínica inicial de pacientes.

Sin embargo, el aparato de estimulación magnética convencional solo está disponible en entornos médicos bien equipados porque pesa alrededor de 70 kg y requiere infraestructura eléctrica para su instalación. Así mismo, el tratamiento práctico requiere la destreza de un profesional médico experimentado, pues la posición de estimulación se determina en relación con los datos de resonancia magnética (RM) del paciente.

Documentos de la técnica anterior

Documentos de patente

- [Documento de patente 1] Publicación pública de patente japonesa n.º JP2012-125546A
- [Documento de patente 2] Publicación internacional n.º WO2010/ 147064A1
- [Documento de patente 3] Publicación internacional n.º WO2015/ 122506A1
- [Documento de Patente 4] Publicación internacional n.º WO2006/134598

Sumario de la invención

Problemas que resolver con la invención

Para la terapia de estimulación magnética transcraneal, actualmente se proponen varias formas de bobinas de estimulación para métodos de estimulación magnética, como una bobina circular, una bobina en forma de ocho, así como una bobina de cuatro hojas, una bobina Heschl y varias pequeñas bobinas circulares dispuestas sobre la superficie de la cabeza. En la actualidad se emplea principalmente la bobina en forma de ocho. La bobina en forma de ocho consiste en dos bobinas circulares conectadas en serie, que están dispuestas de manera que se superponen parcialmente entre sí en sus respectivos extremos de forma circular, por ejemplo. Al permitir que una corriente fluya a través de las bobinas circulares en direcciones opuestas, la bobina en forma de ocho es capaz de concentrar corrientes de Foucault inmediatamente debajo de la parte de intersección de la bobina, para proporcionar estimulación localizada.

Por otro lado, la estimulación en un rango más amplio puede ser más efectiva que la estimulación localizada, dependiendo del objetivo del tratamiento o del síntoma de un paciente individual. Así mismo, una bobina que proporciona estimulación localizada requiere un posicionamiento preciso en la zona diana. En este caso, el posicionamiento preciso debe realizarse con un sistema de navegación o elemento similar.

Al tiempo que se está empezando a desarrollar la idea de estimulación magnética para su uso en tratamientos domésticos, ya se ha desarrollado un sistema de navegación para determinar manualmente una posición de estimulación por parte de un profesional de servicios extramédicos. Como sistema de navegación ilustrativo para determinar la posición de estimulación magnética, se proporciona la descripción de una operación de posicionamiento utilizando un sistema de navegación de una bobina de terapia de estimulación magnética, que detecta la posición y orientación de la bobina de estimulación magnética como fuente de campo magnético en un espacio tridimensional gracias a un esquema de análisis inverso utilizando una pluralidad de sensores magnéticos montados en unas lentes, y describe una operación de cambio de bobina para alcanzar la posición de irradiación y orientación de la bobina de estimulación magnética, que son valores prescritos predeterminados por un médico.

En un hospital, el paciente primero utiliza unas lentes equipadas con una pluralidad de sensores magnéticos. A continuación, un médico acerca una bobina de estimulación magnética a la posición de la diana de irradiación en la corteza cerebral del paciente. El médico realiza ensayos de estimulación magnética para determinar la posición de estimulación óptima (la posición prescrita). Al mismo tiempo, el médico rellena la tabla de datos, asociando una pluralidad de datos obtenidos en la posición de estimulación óptima y una pluralidad de posiciones circundantes, a un intervalo de 5 cm entre sí. Los datos asociados entre sí son los datos de posición y orientación de la bobina de estimulación magnética registrados por una cámara estereoscópica y los datos de magnitud de un campo magnético generado por un imán permanente integrado en la bobina y detectado por los sensores magnéticos de las lentes.

En el caso de que el propio o la propia paciente lleve a cabo el tratamiento en su domicilio desplazando la bobina de estimulación magnética, el paciente especifica la posición tridimensional de ese momento y la orientación de la bobina comparando el valor de detección del sensor magnético de ese momento con el valor del sensor magnético

obtenido previamente en la tabla de datos. La pantalla del monitor junto al paciente muestra una imagen obtenida por la bobina de estimulación magnética que se superpone a una imagen de RM del cerebro. Así, observando la pantalla del monitor, el paciente puede reconocer visual e instintivamente la posición de la bobina de estimulación magnética en ese momento en relación con la posición diana prescrita, y cambiar fácilmente la bobina de estimulación magnética a la posición prescrita donde posicionar la bobina. Cabe señalar que el sistema de navegación puede estar estructurado de otra manera.

Se supone que un error de guía en el sistema de navegación que tenga la estructura descrita anteriormente es, por ejemplo, de 5 mm como máximo desde la posición de estimulación óptima, y la bobina en forma de ocho descrita con anterioridad puede estimular terapéuticamente de manera efectiva la zona diana si el sitio de irradiación (la posición de estimulación óptima) se encuentra a una distancia de 5 mm. En este caso, con un aparato de tratamiento que aplique estimulación magnética con la bobina en forma de ocho en una posición de estimulación guiada por el sistema de navegación, es posible que el rango efectivo de estimulación de la bobina de tratamiento no cubra la zona diana de la irradiación (la posición de estimulación óptima). Por ende, es difícil estimular con precisión la zona diana del tratamiento. En consecuencia, existe la necesidad de desarrollar una bobina capaz de generar corrientes de Foucault de manera uniforme en un rango más amplio, de modo que sea capaz de estimular terapéuticamente de manera efectiva la zona diana que se encuentra a una distancia de 10 mm, por ejemplo.

Así pues, los presentes inventores ya han propuesto un aparato de bobina tipo cúpula que tiene una estructura sin precedentes y han presentado una solicitud de patente para implementar una bobina de estimulación muy resistente (es decir, capaz de generar corrientes de Foucault en un rango más amplio) (por ejemplo, véase el documento de patente 3).

Un objeto de la presente invención es proporcionar un aparato de bobina para su uso en un aparato de estimulación magnética transcraneal capaz de aumentar aún más la intensidad del campo eléctrico sobre la superficie de la cabeza en comparación con la de la técnica anterior, un método de fabricación del aparato de bobina, un aparato de estimulación magnética transcraneal que incluye el aparato de bobina para su uso en un aparato de estimulación magnética transcraneal, y un método para fabricar el aparato de estimulación magnética transcraneal.

Medios para resolver los problemas

Según la presente invención, se proporciona un aparato de bobina para su uso en un aparato de estimulación magnética transcraneal que incluye una bobina de alambre enrollado dispuesta sobre o cerca de la superficie de la cabeza para generar una corriente mediante un campo eléctrico inducido gracias a la inducción electromagnética, en una región diana de estimulación magnética de un cerebro, para así estimular las neuronas. El aparato de bobina es una bobina de tipo cúpula.

La bobina de alambre enrollado incluye una porción de alambre conductor cerca de la superficie de la cabeza, dispuesta sobre o cerca de la superficie de la cabeza, y una porción de alambre conductor alejada de la superficie de la cabeza, dispuesta más lejos de la superficie de la cabeza que la porción de alambre conductor cerca de la superficie de la cabeza. Una distancia entre la porción de alambre conductor cerca de la superficie de la cabeza y la porción de alambre conductor alejada de la superficie de la cabeza está configurada de modo que la inductancia del aparato de bobina se incluya dentro de un rango de inductancia predeterminado igual o superior a 5 μ H e igual o inferior a 13 μ H y que el campo eléctrico inducido se propague predeterminadamente sobre la superficie de la cabeza.

Efecto de la invención

Por consiguiente, la presente invención puede aumentar aún más la intensidad del campo eléctrico sobre la superficie de la cabeza en comparación con la técnica anterior.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una vista en perspectiva que muestra una estructura ilustrativa de un sistema de estimulación magnética transcraneal representativo según una técnica anterior.

La figura 2A es un diagrama de circuito que muestra una configuración ilustrativa de un circuito excitador de bobina de estimulación de un aparato de estimulación magnética transcraneal según una realización de la presente invención.

La figura 2B es un diagrama de forma de onda que muestra la forma de onda de tensión de la bobina del aparato de estimulación magnética transcraneal que se muestra en la figura 2A.

La figura 2C es un diagrama de forma de onda que muestra una forma de onda de corriente de la bobina del aparato de estimulación magnética transcraneal que se muestra en la figura 2A.

La figura 3 es un diagrama de aspecto esquemático de una bobina tipo cúpula utilizada en la presente realización.

La figura 4 es una vista en perspectiva que muestra una estructura de un microhexaedro para describir el principio del método de diferencias finitas de potencial escalar utilizado en la presente realización.

La figura 5 es una tabla que muestra ejemplos de implementación utilizando parámetros tales como la altura L de la bobina tipo cúpula en el aparato de estimulación magnética transcraneal que se muestra en la figura 2A.

La figura 6 es un gráfico que muestra la intensidad de un campo eléctrico que genera la bobina tipo cúpula cuando se cambia la altura L de la bobina tipo cúpula en el aparato de estimulación magnética transcraneal que se muestra en la figura 2A.

La figura 7A es una vista en perspectiva que muestra un aspecto esquemático de la bobina en forma de ocho que no forma parte de la invención.

La figura 7B es una vista en perspectiva que muestra un aspecto esquemático de la bobina tipo cúpula utilizada en la presente realización.

La figura 8A es un resultado de simulación con la bobina en forma de ocho que no forma parte de la invención, y muestra una imagen que presenta la intensidad de un campo eléctrico inducido que se genera en una superficie modelo hemisférica.

La figura 8B es un resultado de simulación con la bobina de tipo cúpula según la presente realización y muestra una imagen que presenta la intensidad de un campo eléctrico inducido que se genera sobre la superficie del modelo hemisférico.

La figura 9A es un resultado de simulación con la bobina en forma de ocho que no forma parte de la invención, y muestra una imagen que presenta la intensidad de un campo eléctrico inducido que se genera en una superficie de sección de modelo hemisférico.

La figura 9B es un resultado de simulación con la bobina tipo cúpula según la presente realización y muestra una imagen que presenta la intensidad de un campo eléctrico inducido que se genera sobre la superficie de la sección del modelo hemisférico.

La figura 10A es una imagen fotográfica que muestra una posición de medición de la intensidad de un campo eléctrico en una imagen de RM de la cabeza del sujeto en una simulación con la bobina en forma de ocho y la bobina tipo cúpula.

La figura 10B es un resultado de simulación con la bobina en forma de ocho que no forma parte de la invención y muestra una tabla que muestra los valores relativos de la intensidad del campo eléctrico en la posición de medición que se muestra en la figura 10A.

La figura 10C es un resultado de simulación con la bobina tipo cúpula según la presente realización y muestra una tabla que muestra los valores relativos de la intensidad del campo eléctrico en la posición de medición que se muestra en la figura 10A.

Modos de llevar a cabo la invención

A continuación en el presente documento, haciendo referencia a los dibujos, se proporcionará una descripción de un aparato de bobina para su uso en un aparato de estimulación magnética transcraneal, un método para fabricar el aparato de bobina para su uso en un aparato de estimulación magnética transcraneal, y un aparato de estimulación magnética transcraneal según una realización de la presente invención. Cabe señalar que en la siguiente realización, los componentes similares se indican con un carácter de referencia idéntico.

CONFIGURACIÓN DEL CIRCUITO EXCITADOR DE LA BOBINA DE ESTIMULACIÓN MAGNÉTICA

Para aplicar corriente en una bobina de estimulación magnética (en lo sucesivo, también denominada "bobina de tratamiento", "bobina de estimulación" o simplemente "bobina") para generar un campo eléctrico para la terapia de estimulación magnética, un sistema de estimulación magnética transcraneal 1 incluye un aparato de control de estimulación magnética 6 conectado a una bobina de estimulación 2, y el aparato de control de estimulación magnética 6 incluye un circuito excitador de la bobina dentro del aparato de control de estimulación magnética 6.

La figura 2A es un diagrama de circuito que muestra una configuración ilustrativa del circuito excitador de la bobina de estimulación del aparato de estimulación magnética transcraneal según una realización de la presente invención.

La figura 2B es un diagrama de forma de onda que muestra la forma de onda de tensión de la bobina del aparato de estimulación magnética transcraneal que se muestra en la figura 2A. La figura 2C es un diagrama de forma de onda que muestra una forma de onda de corriente de la bobina del aparato de estimulación magnética transcraneal que se muestra en la figura 2A.

El circuito excitador de la bobina 20 incluye un aparato de suministro de energía 21, un condensador 22, un interruptor semiconductor 23, la bobina de estimulación 2 y un circuito de control 26. En este caso, el aparato de suministro de energía 21 incluye una fuente de alimentación de CA 21a, un circuito de suministro de energía 21b y un circuito elevador de tensión 21c. En este caso, el interruptor semiconductor 23 está configurado para incluir un tiristor 23a y un diodo 23b conectados inversamente en paralelo al tiristor 23a. El tiristor 23a se enciende/apaga en función de una señal de control del circuito de control 26. Así mismo, el condensador 22 tiene capacitancia C, el interruptor semiconductor 23, un componente de inductancia 24 de la bobina de estimulación 2 que tiene una inductancia L_c y un componente de resistencia 25 de la bobina de estimulación 2 que tiene un valor de resistencia R_c están conectados en serie.

En el circuito excitador de la bobina 20 que se muestra en la figura 2A, después de que el aparato de suministro de energía 21 acumule cargas eléctricas en el capacitor 22 por el tiristor 23a encendido (activado), se produce una

resonancia entre el condensador 22 y el componente de inductancia 24 de la bobina de estimulación 2. En este caso, al pasar por alto la componente de resistencia 25, la corriente "i" que fluye en el componente de inductancia 24 durante la resonancia se representa mediante la siguiente ecuación diferencial:

$$Lc \frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{i}{C} = 0 \quad (1)$$

Por consiguiente, la corriente "i" está representada por la siguiente ecuación usando tensión elevada Vo:

$$i = V_0 \sqrt{\frac{C}{Lc}} \sin \frac{t}{\sqrt{LcC}} \quad (2)$$

Como se puede ver en las ecuaciones (1) y (2), cuando el tiristor 23a se apaga (desconecta) después de un intervalo de tiempo correspondiente a un ciclo de resonancia, la forma de onda de la tensión de la bobina (la tensión a través de los terminales del componente de inductancia 24 de la bobina de estimulación 2) y la forma de onda de la corriente que fluye a través de la bobina de estimulación 2, se muestran en la figura 2B y la figura 2C, respectivamente. Cabe señalar que, en la figura 2B, el eje horizontal representa el tiempo y el eje vertical representa la tensión. En la figura 2C, el eje horizontal representa el tiempo y el eje vertical representa la corriente.

En un sistema de estimulación magnética transcraneal representativo, la tensión aplicada en la bobina de estimulación 2 es de 0,4 kV a 3 kV y la corriente que fluye a través de la bobina de estimulación 2 es de 4 kA a 20 kA. Así mismo, se dice que el ancho de pulso adecuado para la terapia de estimulación magnética transcraneal es de 200 µs a 300 µs, y la intensidad de un campo eléctrico inducido que se genera en el cerebro es de aproximadamente 200 V/m cuando la conductividad de la sustancia gris es de 0,1 S/m. En este caso, la intensidad de la estimulación y el efecto reactivo obtenido por la intensidad de la estimulación pueden cambiar según los sujetos y, a menudo, son de naturaleza empírica.

A continuación, se dará una descripción de la estructura de un aparato de bobina tipo cúpula que es la base del estudio, llevado a cabo por los presentes inventores, sobre el aparato de bobina según la presente realización.

La figura 3 es un diagrama de aspecto esquemático de una bobina tipo cúpula utilizada en la presente realización. Se presentó una solicitud de patente de la bobina tipo cúpula para conseguir una estimulación de área más amplia que la de la bobina convencional en forma de ocho (por ejemplo, véase el documento de patente 3). La bobina tipo cúpula tiene principalmente parámetros independientes, concretamente, un número de espiras "N", una altura "L" y un intervalo de alambre conductor "d", y además, tiene parámetros que dependen de los parámetros independientes, concretamente, un ancho de bobina W y un radio de hemisferio superior R. De aquí en adelante, estos parámetros también se denominan colectivamente "parámetros variables".

Así mismo, el ejemplo de implementación según el documento de patente 3 tiene parámetros constantes, concretamente, el radio de una superficie en contacto inferior de la esfera $r = 100$ mm y la sección transversal de un alambre de cobre rectangular = 2 mm x 6 mm. Así mismo, el radio de una porción en contacto de una superficie inferior x, en una vista superior de la bobina (véase la figura 3), se define como un parámetro auxiliar. Como puede verse a partir de estas definiciones, cuando la bobina está diseñada con referencia a la porción en contacto de la superficie inferior, los valores del radio x y la altura L determinan únicamente el radio R.

Cabe señalar que la bobina tipo cúpula según la presente realización también puede definirse de la siguiente manera. Es decir, la bobina tipo cúpula según la presente realización es un aparato de bobina que incluye una porción de alambre conductor cerca de la superficie de la cabeza, dispuesta cerca de la superficie de la cabeza, y una porción de alambre conductor alejada de la superficie de la cabeza, dispuesta lejos de la superficie de la cabeza. La porción de alambre conductor cerca de la superficie de la cabeza y la porción de alambre conductor alejada de la superficie de la cabeza están conectadas eléctricamente entre sí para formar una espira de una bobina. Una pluralidad de espiras de la bobina está dispuesta con sus centros respectivos continuamente yuxtapuestos entre sí, y la forma de la porción de alambre conductor cerca de la superficie de la cabeza y/o la porción de alambre conductor alejada de la superficie de la cabeza es idéntica entre las espiras adyacentes o gradualmente diferentes entre las espiras adyacentes.

Como alternativa, la bobina tipo cúpula según la presente realización es un aparato de bobina para su uso en la terapia de estimulación magnética transcraneal donde el aparato de bobina incluye una bobina de alambre enrollado. En este caso, la bobina de alambre enrollado está dispuesta sobre o cerca de la superficie de la cabeza, de manera que los ejes centrales de las espiras de la bobina de alambre enrollado se vuelven sustancialmente paralelos a la superficie de la cabeza, y la inducción electromagnética genera una corriente en el cerebro para estimular las neuronas.

Con la bobina tipo cúpula de la definición anterior, la altura L de la bobina se puede definir como el valor máximo de la distancia entre la porción de alambre conductor cerca de la superficie de la cabeza y la porción de alambre

conductor alejada de la superficie de la cabeza en cada una de las espiras de la bobina que estructuran la bobina tipo cúpula.

Si bien la realización descrita anteriormente explica la bobina tipo cúpula, la presente divulgación se refiere también a una bobina en forma de ocho que incluye una bobina que es la porción de alambre conductor de la superficie cerca de la cabeza y una bobina que es la porción de alambre conductor alejada de la superficie de la cabeza. En este caso, la bobina en forma de ocho es un aparato de bobina para su uso en un aparato de estimulación magnética transcraneal, donde el aparato de bobina incluye una bobina de alambre enrollado dispuesta sobre o cerca de la superficie de la cabeza, de modo que los ejes centrales de las vueltas de la bobina de alambre enrollado se vuelvan sustancialmente perpendiculares a la superficie de la cabeza, y esto lleva a que la inducción electromagnética genere una corriente en el cerebro para estimular las neuronas. La bobina en forma de ocho no forma parte de la invención.

POLÍTICAS DE ESTUDIO LLEVADAS A CABO POR LOS PRESENTES INVENTORES

En función de la bobina tipo cúpula que tiene los parámetros descritos anteriormente, los presentes inventores llevaron a cabo el estudio que condujo al aparato de bobina según la presente realización, basándose en el siguiente proceso y conocimiento.

En primer lugar, tras diseñar el aparato de bobina para su uso en un aparato de estimulación magnética transcraneal, se hace segura la estimulación en un área diana de tratamiento de estimulación magnética sobre la superficie cerebral, por ejemplo, en el área sensorial adyacente al área motora primaria. Por otro lado, debe evitarse la estimulación del área de la memoria, como el hipocampo. Por consiguiente, al diseñar el aparato de bobina, los presentes inventores configuran un rango de estimulación aproximadamente 1,5 veces más grande, tanto en vertical como en horizontal, que el rango de estimulación de la bobina en forma de ocho convencional.

Así mismo, cualquier reducción en la eficacia de estimulación requeriría la aplicación en la bobina de una mayor cantidad de corriente, lo que haría que la bobina generara calor y, en consecuencia, interfiriera con la estimulación continua. Así, tras el diseño, los presentes inventores también han dado importancia a la prevención de cualquier reducción de la eficacia de estimulación.

La solicitud de patente previamente presentada por los presentes inventores propone una novedosa bobina tipo cúpula capaz de estimular uniformemente un rango más amplio que el de una bobina en forma de ocho, y analiza la influencia en el campo eléctrico inducido cuando la altura L, el ancho de la bobina W y el radio del hemisferio superior R van cambiando de forma independiente.

Sin embargo, los inventores descubrieron que la relación entre estos parámetros de diseño y la propagación o intensidad del campo eléctrico inducido resultante que se generaba en la cabeza era complicada, y el diseño óptimo de la bobina tipo cúpula difícilmente se consiguió mediante el enfoque de diseño que suponía cambiar de forma independiente estos parámetros.

En la presente realización, como se describirá en detalle más adelante, los presentes inventores adoptaron recientemente un enfoque tras diseñar la bobina tipo cúpula que usaba "el área de la superficie inferior de la bobina que está en contacto con la cabeza" como referencia fija. Como resultado, los presentes inventores descubrieron que "la propagación" y "la intensidad" del campo eléctrico inducido resultante dependían de "el área en contacto con la cabeza" y "la altura de la bobina y la densidad de espiras", respectivamente. Este hallazgo hizo posible cambiar la intensidad del campo eléctrico inducido resultante manteniendo constante la propagación del campo eléctrico y, por lo tanto, facilitó el diseño de la bobina tipo cúpula en términos de búsqueda de un valor óptimo. A continuación en el presente documento, se proporcionará específicamente una descripción del resultado del estudio en función de dicho proceso llevado a cabo por los presentes inventores.

MÉTODO DE CÁLCULO DEL CAMPO ELÉCTRICO INDUCIDO EN EL MODELO DE CABEZA UTILIZANDO EL MÉTODO DE DIFERENCIAS FINITAS DE POTENCIAL ESCALAR

En los estudios que condujeron a la presente realización, que suponen el cálculo de un campo eléctrico inducido en la estimulación magnética transcraneal en su proceso, los presentes inventores utilizaron en sus estudios el método de diferencias finitas de potencial escalar (método DFPE). Según el método DFPE, un sujeto donde se va a generar un campo eléctrico inducido por un campo magnético dinámico se divide en microparalelepípedos rectangulares, y se obtiene un campo eléctrico inducido que se genera en cada microvolumen como solución a una ecuación diferencial del potencial vector magnético. En primer lugar, un campo eléctrico E generado por la bobina se representa de la siguiente manera, utilizando un potencial vector magnético A₀ y un potencial escalar Vφ:

$$E = -\frac{\partial A_0}{\partial t} - \nabla \phi \quad (3)$$

Así mismo, la siguiente ecuación se determina mediante la ecuación de continuidad de corriente y la ley de Ohm de

una densidad de corriente inducida J , el campo eléctrico E y una conductividad σ :

$$\nabla J = \nabla \sigma E = 0 \quad (4)$$

5 Mediante las ecuaciones anteriores (3) y (4) se establece la siguiente ecuación:

$$-\nabla(\nabla \sigma \phi) = \nabla(\sigma \frac{\partial A_0}{\partial t}) \quad (5)$$

La figura 4 es una vista en perspectiva que muestra una estructura de un microhexaedro para describir el principio del método de diferencias finitas de potencial escalar utilizado en la presente realización. En un microhexaedro virtual que se muestra en la figura 4, S_n es una conductancia de cada una de las líneas, l_n es la longitud de cada una de las líneas, ϕ_n es un potencial escalar en un nodo P_n , y A_{0n} es un potencial vector magnético del componente en la dirección de la línea que conecta un nodo P_0 y el nodo P_n . En este caso, discretizando las ecuaciones (3), (4), y (5), para estos valores se establece la siguiente ecuación:

$$\sum_{n=1}^6 S_n \phi_n - (\sum_{n=1}^6 S_n) \phi_0 = \sum_{n=1}^6 (-1)^n S_n l_n \frac{\partial A_{0n}}{\partial t}$$

(6)

Al resolver la ecuación en todos los vóxeles, se obtiene un campo eléctrico inducido E (vector).

20 EJEMPLO DE IMPLEMENTACIÓN 1

CAMBIOS EN EL CAMPO ELÉCTRICO INDUCIDO, SIENDO CONSTANTE EL ÁREA DE LA PORCIÓN EN CONTACTO CON LA CABEZA DE LA BOBINA TIPO CÚPULA Y CAMBIANDO LA ALTURA Y LA DENSIDAD DEL ALAMBRE CONDUCTOR

La figura 5 es una tabla que muestra ejemplos de implementación del aparato de estimulación magnética transcraneal que se muestra en la figura 2A con la adopción de parámetros tales como la altura L de la bobina tipo cúpula y similares. Con el fin de analizar los cambios en el efecto de estimulación de los parámetros, como se muestra en la figura 5, los presentes inventores proporcionaron en primer lugar una pluralidad de modelos de bobina con alturas L de bobina de 21 mm y 39 mm, calculándose el área de la superficie en contacto con la cabeza en función de $x = 56$ mm, los cuales son valores fijos basados en el valor de diseño, y analizando los cambios en el campo eléctrico inducido en cada conductor hemisférico que simulaba una cabeza. Cabe señalar que la bobina tipo cúpula está configurada para incluir una pluralidad de espiras con sus respectivos elementos conectados en serie, por ejemplo. El ancho entre elementos respectivos de dos espiras adyacentes se define como un ancho de elemento d .

En este caso, dado que la altura L cambió cuando el área en contacto con la cabeza (área en contacto con la cabeza) se mantuvo constante, el radio (R en la figura 3) del alambre conductor del lado superior de la bobina tipo cúpula cambió de 60,2 mm a 56 mm de acuerdo con la altura L . Se proporcionaron los siguientes tres tipos de modelos de bobina con otros parámetros diferentes.

(Modelo M1) el número de espiras $N = 20$, el ancho del elemento $d = 1$ mm y el ancho de la bobina $W = 59$ mm;
(Modelo M2) el número de espiras $N = 20$, el ancho del elemento $d = 2$ mm y el ancho de la bobina $W = 78$ mm;
(Modelo M3) el número de espiras $N = 26$, el ancho del elemento $d = 1$ mm y el ancho de la bobina $W = 78$ mm.

Cabe señalar que la comparación entre el Modelo M2 y el Modelo M3 muestra cambios en el campo eléctrico inducido cuando la densidad del alambre conductor cambia manteniendo el área de contacto. Así mismo, en función de eso, la altura de la bobina L se cambia a 21 mm y 39 mm, el Modelo M1 se denomina Grupo de modelos M1, el Modelo M2 se denomina Grupo de modelos M2 y el Modelo M3 se denomina Grupo de modelos M3.

El conductor donde se va a generar un campo eléctrico inducido tiene forma de semiesfera con un radio de 75 mm y una conductividad $\sigma = 0,1$ S/m, y está colocado en una posición 10 mm por debajo del modelo de bobina. La corriente de 5,3 kA con 4 kHz se aplicó en la bobina de estimulación. Después, como se describe más adelante, los cambios en la intensidad y la propagación del campo eléctrico inducido por las variaciones en la altura de la bobina L se calcularon en función del método de diferencias finitas de potencial escalar y sus datos calculados se comparan entre sí.

La figura 6 es un gráfico que muestra la intensidad del campo eléctrico que genera la bobina cuando se cambia la altura L de la bobina tipo cúpula en el aparato de estimulación magnética transcraneal que se muestra en la figura 2A. Como se muestra en la figura 6, se descubrió que el rango de estimulación no cambió para las variaciones en la altura L de la bobina tipo cúpula, y solo la intensidad es proporcional a la altura L . Es decir, el Grupo de modelos M1,

donde $N = 20$ y el ancho del elemento $d = 1$ mm mostró un valor intraesfera promedio de 83 V/m a 129 V/m en un campo eléctrico inducido, con un radio de 10 mm en el centro del punto de estimulación, y el Grupo de modelos M2, donde $N = 20$ y el ancho del elemento de 2 mm mostró un valor intraesfera promedio de 54 V/m a 87 V/m en dicho campo. Así, la intensidad del campo eléctrico inducido se hizo mayor cuanto mayor era la altura de la bobina.

En este caso, "el valor intraesfera promedio del campo eléctrico inducido" se refiere al valor obtenido calculando una intensidad de campo eléctrico para cada uno de los puntos de la esfera que cubre un radio predeterminado desde un punto central; y calculando el valor promedio de los mismos. Así mismo, el Grupo de modelos M3, en el que no se modificó el área de la porción en contacto y se modificó la densidad del alambre conductor, mostró el valor intraesfera promedio del campo eléctrico inducido de 73 V/m a 118 V/m, es decir, solo aumentó la intensidad mientras que la propagación del campo eléctrico inducido no mostró ningún cambio en comparación con el Grupo de modelos M2. Cabe señalar que la propagación del campo eléctrico inducido es el valor que se define con referencia a un punto en el que el campo eléctrico inducido generado se atenúa en un 50 % del valor máximo. La mitad del ancho del Grupo de modelos M1 era de 8,7 cm x 4,2 cm y la mitad del ancho de los Grupos de modelos M2 y M3 era de 9,7 cm x 5,3 cm.

Estos resultados mostraron que, tras diseñar la bobina tipo cúpula, aumentar tanto la altura L de la bobina como la densidad del devanado sin cambios en el área de la porción en contacto maximiza la intensidad sin aumentar o reducir la propagación del campo eléctrico inducido generado. Este es un hallazgo importante para intentar diseñar una bobina que sea capaz de lograr una estimulación eficaz sin involucrar un aumento innecesario del campo eléctrico inducido.

Sin embargo, dado que una mayor altura de bobina L o una mayor densidad de devanado aumenta el enlace de flujo del cuerpo de la bobina, aumenta la autoinductancia L_c de la bobina. En este caso, el ancho de pulso T de la corriente que genera el circuito excitador general descrito con anterioridad se determina de la siguiente manera utilizando una autoinductancia L_c de la bobina y una capacitancia C del circuito:

$$T = 2\pi\sqrt{L_c C} \quad (7)$$

En general, se dice que el ancho de pulso de la corriente aplicada a la bobina de estimulación capaz de estimular los nervios de manera eficaz es de 200 μ s a 300 μ s. Después, por consiguiente, en el caso de una capacitancia $C = 180$ μ F, el valor límite de la inductancia es de aproximadamente 13 μ H. Al calcular la inductancia de cada modelo de bobina en vista de lo anterior, en el caso de la altura de bobina $L = 39$ mm con el Grupo de modelos M2, donde la propagación del campo eléctrico inducido es suficiente, la inductancia se puede calcular como 9,0 μ H. Este valor es suficientemente bajo en función del valor de referencia de 13 μ H, y aún todavía se proporciona un margen en vista de un ancho de pulso efectivo en términos de tratamiento.

En función de lo anterior, la obtención de un valor de inductancia con una altura L de bobina elevada proporciona 12,9 μ H en caso de que $L = 49$ mm, que es la altura óptima de bobina que no proporciona ningún valor de inductancia que sobrepase la referencia de 13 μ H. En este caso, la intensidad de la bobina como valor de extrapolación calculado por una línea recta aproximada obtenida a partir del resultado fue de 107 V/m, y la intensidad de la bobina como resultado del análisis del campo eléctrico inducido a partir de las ecuaciones anteriores con el mismo resultado experimental fue de 103 V/m.

Cabe señalar que, en el caso de $C = 180$ μ F, con un ancho de pulso de la corriente aplicada a la bobina de estimulación de 200 μ s, el valor mínimo de la inductancia es 5,63 μ H, y la inductancia debe ser preferentemente de al menos 5 μ H o más.

EJEMPLO DE IMPLEMENTACIÓN 2

COMPARACIÓN EN CAMPO ELÉCTRICO INDUCIDO PARA MODELO HEMISFÉRICO ENTRE BOBINA EN FORMA DE OCHO Y BOBINA TIPO CÚPULA

A continuación, para evaluar la robustez de la bobina tipo cúpula en términos de posición, se compararon la propagación y la intensidad de un campo eléctrico inducido para el modelo hemisférico de la bobina en forma de ocho y de la bobina tipo cúpula.

La figura 7A es una vista en perspectiva que muestra un aspecto esquemático de la bobina en forma de ocho. La figura 7B es una vista en perspectiva que muestra un aspecto esquemático de la bobina tipo cúpula utilizada en la presente realización.

Como se muestra en la figura 7A, la bobina en forma de ocho está configurada para incluir dos bobinas circulares superpuestas entre sí, donde cada una de las bobinas circulares tiene un radio externo de 51 mm, un radio interno de 11 mm y 10 espiras. La bobina tipo cúpula tiene los valores de $N = 20$, $d = 2$, $W = 78$ mm, $L = 39$ mm y $R = 66$ mm. El modelo hemisférico es similar al utilizado en el estudio descrito anteriormente. La corriente que circula

por las bobinas es de 5,3 kA con 3,4 kHz.

En cuanto al campo eléctrico inducido que se genera en el modelo hemisférico, el rango de propagación de la bobina tipo cúpula, donde la intensidad de estimulación se atenúa a la mitad, fue de 9,8 cm x 5,4 cm, y el de la bobina en forma de ocho fue de 6,0 cm x 3,4 cm. Además, el valor promedio del campo eléctrico inducido que se genera dentro de una esfera de un radio de 10 mm alrededor de la parte superior del hemisferio fue de 83 V/m con la bobina tipo cúpula y de 169 V/m con la bobina en forma de ocho. El resultado de esto se muestra en la tabla 1.

Tabla 1:

	Bobina en forma de ocho	Bobina tipo cúpula
Intensidad de campo eléctrico (valor promedio en esfera de 10 mm)	169 V/m	83 V/m
Propagación (ancho de atenuación del 50 %)	6,0 cm x 3,4 cm	9,8 cm x 5,4 cm

La figura 8A es un resultado de simulación con la bobina en forma de ocho y muestra una imagen que presenta la intensidad de un campo eléctrico inducido que se genera sobre la superficie del modelo hemisférico. La figura 8B es un resultado de simulación con la bobina de tipo cúpula según la presente realización y muestra una imagen que presenta la intensidad de un campo eléctrico inducido que se genera sobre la superficie del modelo hemisférico. La figura 9A es un resultado de simulación con la bobina en forma de ocho y muestra una imagen que presenta la intensidad de un campo eléctrico inducido que se genera sobre la superficie de la sección del modelo hemisférico. La figura 9B es un resultado de simulación con la bobina de tipo cúpula según la presente realización y muestra una imagen que presenta la intensidad del campo eléctrico inducido que se genera sobre la superficie de la sección del modelo hemisférico. Es decir, las figuras 8A y 8B muestran el aspecto del campo eléctrico inducido que se genera sobre el modelo hemisférico en la superficie del modelo, y las figuras 9A y 9B muestran el aspecto de este en la sección del mismo.

Aunque la bobina tipo cúpula es inferior en intensidad de estimulación que la bobina en forma de ocho, se puede ver que la bobina tipo cúpula logra un rango de estimulación más amplio en el modelo hemisférico. La profundidad de la estimulación también es suficiente. Lo que se puede apreciar desde la distancia hasta la posición donde el campo eléctrico inducido máximo se atenúa en un 50 % es de 9,8 mm con la bobina en forma de ocho y de 15 mm con la bobina tipo cúpula. En general, teniendo en cuenta que se dice que la desalineación en la posición de estimulación tolerada con la bobina en forma de ocho es de aproximadamente 5 mm, a partir del resultado anterior, se espera que la desalineación en la posición de estimulación permisible con la bobina tipo cúpula aumente aproximadamente 1,5 veces, es decir, aproximadamente 8 mm. De este modo, se puede reconocer que se implementa la bobina que presenta gran tolerancia a la desalineación.

EJEMPLO DE IMPLEMENTACIÓN 3

CÁLCULO DE EVALUACIÓN DE LA ROBUSTEZ EN TÉRMINOS DE POSICIÓN DE LA BOBINA TIPO CÚPULA CON LOS DATOS EN FORMA DE CEREBRO OBTENIDOS MEDIANTE RM

Los presentes inventores han llevado a cabo un estudio basado en la simulación de la desalineación en una posición de estimulación con una cuadrícula de 3 mm con 5 puntos x 5 puntos en torno al punto de estimulación del área motora de un modelo en forma de cerebro formado por una imagen de RM de la cabeza hemisférica de un sujeto.

El modelo en forma de cerebro se extrajo de la imagen de RM por separado para tres elementos, concretamente, la sustancia blanca, la sustancia gris y el líquido cefalorraquídeo del cerebro humano, mediante el uso del paquete de análisis estadístico de imágenes SPM que opera en MATLAB. La conductividad de la sustancia blanca, la sustancia gris y el líquido cefalorraquídeo se configuraron a 0,07 S/m, 0,11 S/m y 1,79 S/m, respectivamente. El campo eléctrico inducido en el punto de estimulación previsto originalmente al producirse la desalineación se comparó entre la bobina en forma de ocho y la bobina tipo cúpula diseñada de manera similar a la del ejemplo de implementación 2.

La figura 10A es una imagen fotográfica que muestra una posición de medición de la intensidad de un campo eléctrico en una imagen de RM de la cabeza del sujeto en la simulación con la bobina en forma de ocho y la bobina tipo cúpula. La figura 10B es un resultado de simulación con la bobina en forma de ocho y muestra una tabla que presenta los valores relativos de la intensidad del campo eléctrico en la posición de medición que se muestra en la figura 10A. La figura 10C es un resultado de simulación con la bobina tipo cúpula según la presente realización y muestra una tabla que muestra los valores relativos de la intensidad del campo eléctrico en la posición de medición que se muestra en la figura 10A. En este caso, la posición de medición en la figura 10A son coordenadas definidas por una coordenada en el eje Xa y una coordenada en el eje Ya, que son ortogonales entre sí.

Es decir, la figura 10A muestra la forma del cerebro obtenida por RMN y el aspecto del punto de estimulación en el área motora primaria en la imagen de RM. Como resultado de simular el campo eléctrico inducido atribuido a la estimulación, la intensidad del campo eléctrico inducido fue de 264 V/m con la bobina en forma de ocho y de 101 V/m con la bobina tipo cúpula, cada una de las cuales se obtuvo como el valor promedio del campo eléctrico inducido que se genera dentro de una esfera de un radio de 10 mm en torno al punto central de estimulación. En

cuanto a la atenuación de la intensidad del campo eléctrico tras la desalineación, como se muestra en la figura 10B, se observó un punto de estimulación con una reducción máxima del 10,8 % con la bobina en forma de ocho. Esta observación concuerda con el informe de que, en algunos casos, el efecto del tratamiento no se muestra debido a la desalineación de la bobina de 5 mm o más.

Por otro lado, como se muestra en la figura 10C, incluso en el punto de máxima reducción, solo se observó una reducción del 1,1 % con la bobina tipo cúpula. Por ende, se puede decir que la bobina tipo cúpula tiene el diseño que resiste la desalineación tras realizar la estimulación en un cerebro real de forma compleja. Además, esta conclusión también concuerda con el estudio de que el desplazamiento de la posición de estimulación tolerado con el modelo hemisférico fue de aproximadamente 8 mm.

Resumiendo la realización descrita con anterioridad, configurando que la distancia entre la porción de alambre conductor cerca de la superficie de la cabeza y la porción de alambre conductor alejada de la superficie de la cabeza cambien para que aumente la intensidad del campo eléctrico inducido de la región diana de estimulación magnética, preferentemente se convierta sustancialmente en la máxima, en comparación con la región circundante de la región diana de estimulación magnética (la región que debe someterse a la estimulación magnética) en el cerebro, la intensidad del campo eléctrico inducido aumenta notablemente que la del estado de la técnica. En este caso, es preferible configurar la distancia de modo que la inductancia L_c se incluya dentro de un rango de inductancia de 5 μH a 13 μH , incluidos ambos valores, y el campo eléctrico inducido se propague predeterminadamente sobre la superficie de la cabeza. Así mismo, con el aparato de estimulación magnética transcraneal, es preferible configurar el ancho de pulso de modo que se incluya dentro de un rango de ancho de pulso predeterminado, y configurar que la distancia entre la porción de alambre conductor cerca de la superficie de la cabeza y la porción de alambre conductor alejada de la superficie de la cabeza de modo cambie para que la intensidad del campo eléctrico inducido aumente notablemente respecto a la de la región circundante de la región diana de estimulación magnética.

SUMARIO DE LAS REALIZACIONES

La invención viene definida por las reivindicaciones.

Según la presente invención, se proporciona un aparato de bobina para su uso en un aparato de estimulación magnética transcraneal que incluye una bobina de alambre enrollado dispuesta sobre o cerca de la superficie de la cabeza para generar una corriente mediante un campo eléctrico inducido gracias a la inducción electromagnética, en una región diana de estimulación magnética de un cerebro, para así estimular las neuronas. El aparato de bobina es una bobina de tipo cúpula. La bobina de alambre enrollado incluye una porción de alambre conductor cerca de la superficie de la cabeza, dispuesta sobre o cerca de la superficie de la cabeza, y una porción de alambre conductor alejada de la superficie de la cabeza, dispuesta más lejos de la superficie de la cabeza que la porción de alambre conductor cerca de la superficie de la cabeza. La distancia entre la porción de alambre conductor cerca de la superficie de la cabeza y la porción de alambre conductor alejada de la superficie de la cabeza está configurada para cambiar, de modo que la intensidad del campo eléctrico inducido sea superior a la de una región circundante de la región diana de estimulación magnética.

Según el aparato de bobina para su uso en el aparato de estimulación magnética transcraneal de la presente invención, en el aparato de bobina para su uso en el aparato de estimulación magnética transcraneal del primer aspecto de la presente invención, la distancia entre la porción de alambre conductor cerca de la superficie de la cabeza y la porción de alambre conductor alejada de la superficie de la cabeza está configurada para cambiar, de modo que la inductancia del aparato de bobina se incluya dentro de un rango predeterminado de inductancia y el campo eléctrico inducido se propague predeterminadamente sobre la superficie de la cabeza.

Según el aparato de bobina para su uso en el aparato de estimulación magnética transcraneal de la presente invención, en el aparato de bobina para su uso en el aparato de estimulación magnética transcraneal del segundo aspecto de la presente invención, el rango de inductancia está configurado para que sea igual o superior a 5 μH e igual o inferior a 13 μH .

Según la presente invención, se proporciona un aparato de estimulación magnética transcraneal que incluye el aparato de bobina para su uso en el aparato de estimulación magnética transcraneal, y un circuito excitador que emite un pulso de corriente que tiene un ancho de pulso predeterminado que va hacia el aparato de bobina. El ancho de pulso está configurado para incluirse dentro de un rango de ancho de pulso predeterminado, y la distancia entre la porción de alambre conductor cerca de la superficie de la cabeza y la porción de alambre conductor alejada de la superficie de la cabeza está configurada para cambiar, de modo que la intensidad del campo eléctrico inducido aumente más que la de una región circundante de la región diana de estimulación magnética.

Según el aparato de estimulación magnética transcraneal de la presente invención, en el aparato de estimulación magnética transcraneal, el rango de ancho de pulso está configurado como igual o superior a 200 μs e igual o inferior a 300 μs .

Según la presente invención, se proporciona un método para fabricar un aparato de bobina para su uso en un

aparato de estimulación magnética transcraneal que incluye una bobina de alambre enrollado, dispuesta sobre o cerca de la superficie de la cabeza, para así generar una corriente mediante un campo eléctrico inducido gracias a la inducción electromagnética en una región diana de estimulación magnética de un cerebro, para así estimular las neuronas. La bobina de alambre enrollado incluye una porción de alambre conductor cerca de la superficie de la cabeza, dispuesta sobre o cerca de la superficie de la cabeza, y una porción de alambre conductor alejada de la superficie de la cabeza, dispuesta más lejos de la superficie de la cabeza que la porción de alambre conductor cerca de la superficie de la cabeza. El método incluye la etapa de: configurar una distancia entre la porción de alambre conductor cerca de la superficie de la cabeza y la porción de alambre conductor alejada de la superficie de la cabeza, de modo que la intensidad del campo eléctrico inducido sea superior a la de una región circundante de la región diana de estimulación magnética.

Según el método de fabricación del aparato de bobina para su uso en el aparato de estimulación magnética transcraneal de la presente invención, en el método de fabricación del aparato de bobina para su uso en el aparato de estimulación magnética transcraneal de la presente invención, el método incluye además la etapa de: configurar que la distancia entre la porción de alambre conductor de la superficie cerca de la cabeza y la porción de alambre conductor de la superficie alejada de la cabeza cambie de modo que la inductancia del aparato de bobina se incluya dentro de un rango de inductancia predeterminado y el campo eléctrico inducido se propague predeterminadamente sobre la superficie de la cabeza.

Según la presente invención, se proporciona un método para fabricar un aparato de estimulación magnética transcraneal que incluye el aparato de bobina para su uso en el aparato de estimulación magnética transcraneal y un circuito excitador que emite un pulso de corriente, que tiene un ancho de pulso predeterminado, que va hacia el aparato de bobina. El método incluye la etapa de: configurar el ancho de pulso para que se incluya dentro de un rango predeterminado de ancho de pulso; y configurar la distancia entre la porción de alambre conductor cerca de la superficie de la cabeza y la porción de alambre conductor alejada de la superficie de la cabeza para que cambie, de modo que la intensidad del campo eléctrico inducido sea superior a la de una región circundante de la región diana de estimulación magnética.

Aplicabilidad industrial

Como se describió en detalle con anterioridad, la presente invención puede aumentar aún más la intensidad del campo eléctrico sobre la superficie de la cabeza. La presente invención se puede aplicar ampliamente en un aparato de bobina para su uso en un aparato de estimulación magnética transcraneal, un método de fabricación del aparato de bobina para su uso en un aparato de estimulación magnética transcraneal, un aparato de estimulación magnética transcraneal que utiliza el aparato de bobina, y un método para fabricar el aparato de estimulación magnética transcraneal.

Descripción de los caracteres de referencia

- 1: SISTEMA DE ESTIMULACIÓN MAGNÉTICA TRANSCRANEAL
- 2: BOBINA DE ESTIMULACIÓN
- 4: CABLE
- 6: APARATO DE CONTROL DE ESTIMULACIÓN MAGNÉTICA
- 20: CIRCUITO EXCITADOR DE LA BOBINA
- 21: APARATO DE SUMINISTRO DE ENERGÍA
- 21a: FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE CA
- 21b: CIRCUITO DE SUMINISTRO DE ENERGÍA
- 21c: CIRCUITO ELEVADOR DE Tensión
- 22: CONDENSADOR
- 23: INTERRUPTOR SEMICONDUCTOR
- 23a: TIRISTOR
- 23b: DIODO
- 24: COMPONENTE DE INDUCTANCIA DE LA BOBINA DE ESTIMULACIÓN
- 25: COMPONENTE DE RESISTENCIA DE LA BOBINA DE ESTIMULACIÓN
- 26: CIRCUITO DE CONTROL
- M: PACIENTE

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de bobina (2) para su uso en un aparato de estimulación magnética transcraneal (1), que incluye una bobina de alambre enrollado (24, 25) que se dispone sobre o cerca de la superficie de la cabeza, para generar una corriente mediante un campo eléctrico inducido gracias a la inducción electromagnética en una región diana de estimulación magnética de un cerebro y así estimular las neuronas, en donde

la bobina de alambre enrollado (24, 25) incluye una porción de alambre conductor cerca de la superficie de la cabeza, dispuesta sobre o cerca de la superficie de la cabeza, y una porción de alambre conductor alejada de la superficie de la cabeza, dispuesta más lejos de la superficie de la cabeza que la porción de alambre conductor cerca de la superficie de la cabeza, estando el aparato de bobina **caracterizado por que** el aparato de bobina (2) es una bobina tipo cúpula y hay una distancia entre la porción de alambre conductor de la superficie cerca de la cabeza y la porción de alambre conductor de la superficie alejada de la cabeza configurada de modo que la inductancia (24) del aparato de bobina (2) se incluya dentro de un rango de inductancia predeterminado (24) igual o superior a 5 μ H e igual o inferior a 13 μ H y el campo eléctrico inducido se propague predeterminadamente sobre la superficie de la cabeza.

2. Un aparato de estimulación magnética transcraneal (1) que comprende:

el aparato de bobina (2) para su uso en un aparato de estimulación magnética transcraneal (1) según la reivindicación 1, y un circuito excitador (20) que emite un pulso de corriente, que tiene un ancho de pulso predeterminado, que va hacia el aparato de bobina (2), en donde el ancho de pulso está configurado de modo que se incluye dentro de un rango de ancho de pulso predeterminado, y la distancia entre la porción de alambre conductor de la superficie cerca de la cabeza y la porción de alambre conductor de la superficie alejada de la cabeza está configurada de modo que la intensidad del campo eléctrico inducido aumente más que la de una región circundante de la región diana de estimulación magnética.

3. El aparato de estimulación magnética transcraneal (1) según la reivindicación 2, en donde el rango de ancho de pulso está configurado para que sea igual o superior a 200 μ s e igual o inferior a 300 μ s.

4. Un método de fabricación de un aparato de bobina (2) para su uso en un aparato de estimulación magnética transcraneal (1), que incluye una bobina de alambre enrollado (24, 25) que se dispone sobre o cerca de la superficie de la cabeza, para generar una corriente mediante un campo eléctrico inducido gracias a la inducción electromagnética en una región diana de estimulación magnética de un cerebro y así estimular las neuronas, en donde

la bobina de alambre enrollado (24, 25) incluye una porción de alambre conductor cerca de la superficie de la cabeza, dispuesta sobre o cerca de la superficie de la cabeza, y una porción de alambre conductor alejada de la superficie de la cabeza, dispuesta más lejos de la superficie de la cabeza que la porción de alambre conductor cerca de la superficie de la cabeza, estando el método **caracterizado por que** el aparato de bobina (2) es una bobina tipo cúpula y el método incluye la etapa de: configurar una distancia entre la porción de alambre conductor cerca de la superficie de la cabeza y la porción de alambre conductor alejada de la superficie de la cabeza, de modo que la inductancia (24) del aparato de bobina (2) se incluya dentro de un rango predeterminado de inductancia (24) igual o superior a 5 μ H e igual o inferior a 13 μ H y el campo eléctrico inducido se propague predeterminadamente sobre la superficie de la cabeza.

5. Un método de fabricación de un aparato de estimulación magnética transcraneal (1), que incluye el aparato de bobina (2) para su uso en el aparato de estimulación magnética transcraneal (1), según la reivindicación 1, y un circuito excitador (20) que emite un pulso de corriente, que tiene un ancho de pulso predeterminado, que va hacia el aparato de bobina (2),

en donde el método incluye las etapas de:

fabricar el aparato de bobina usando el método de la reivindicación 4;

configurar el ancho de pulso para que se incluya dentro de un rango de ancho de pulso predeterminado; y configurar una distancia entre la porción de alambre conductor cerca de la superficie de la cabeza y la porción de alambre conductor alejada de la superficie de la cabeza, de modo que la intensidad del campo eléctrico inducido sea superior a la de una región circundante de la región diana de estimulación magnética.

Fig. 1

1

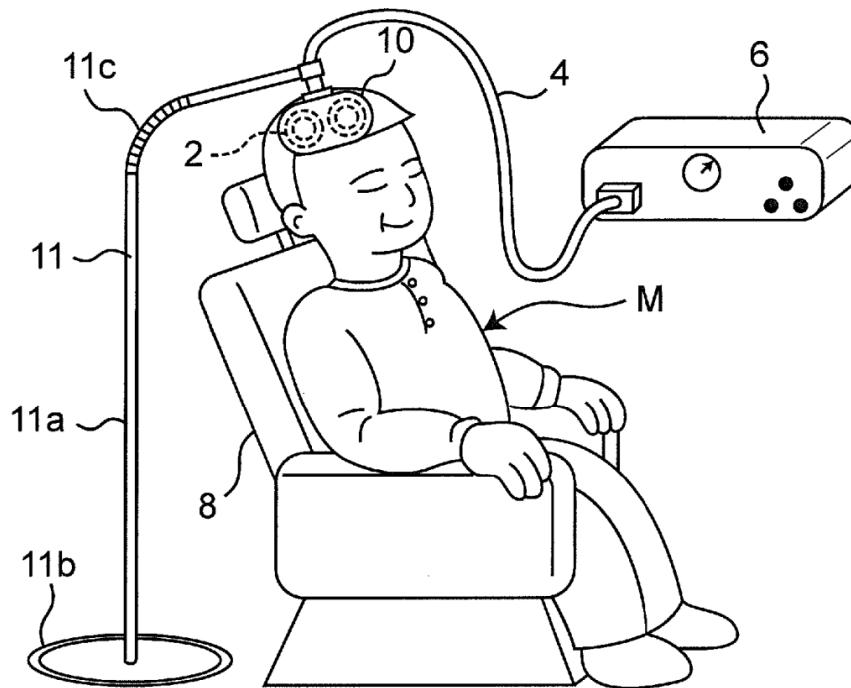


Fig. 2A

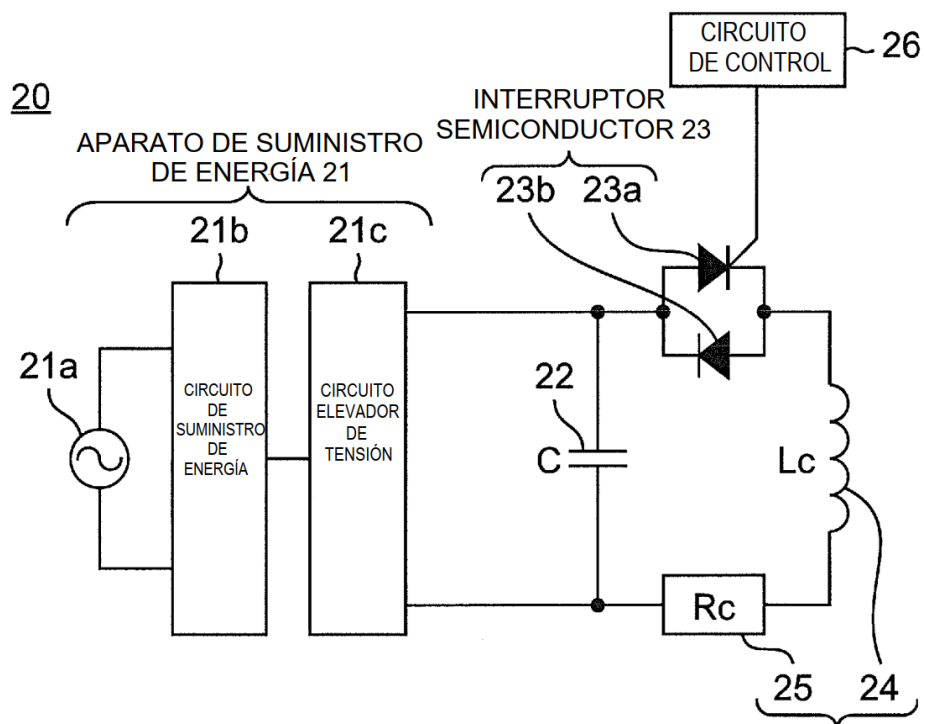


Fig.2B

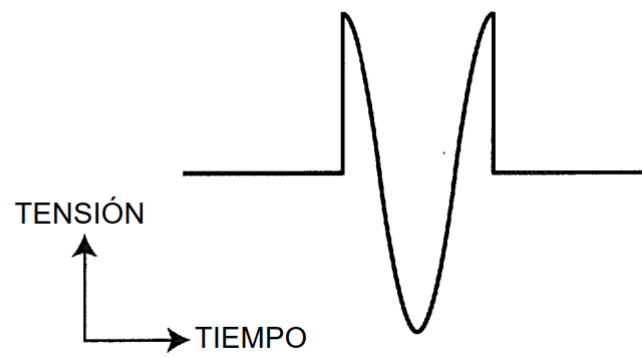


Fig.2C

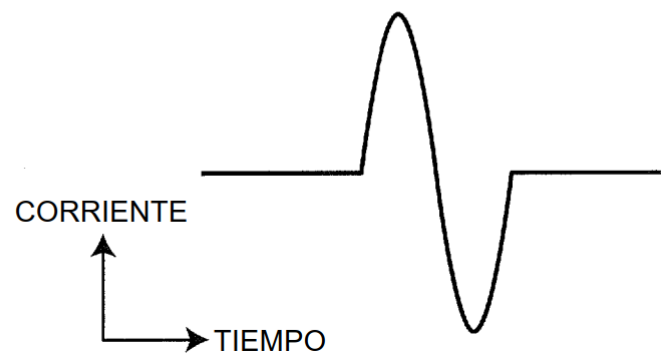


Fig.3

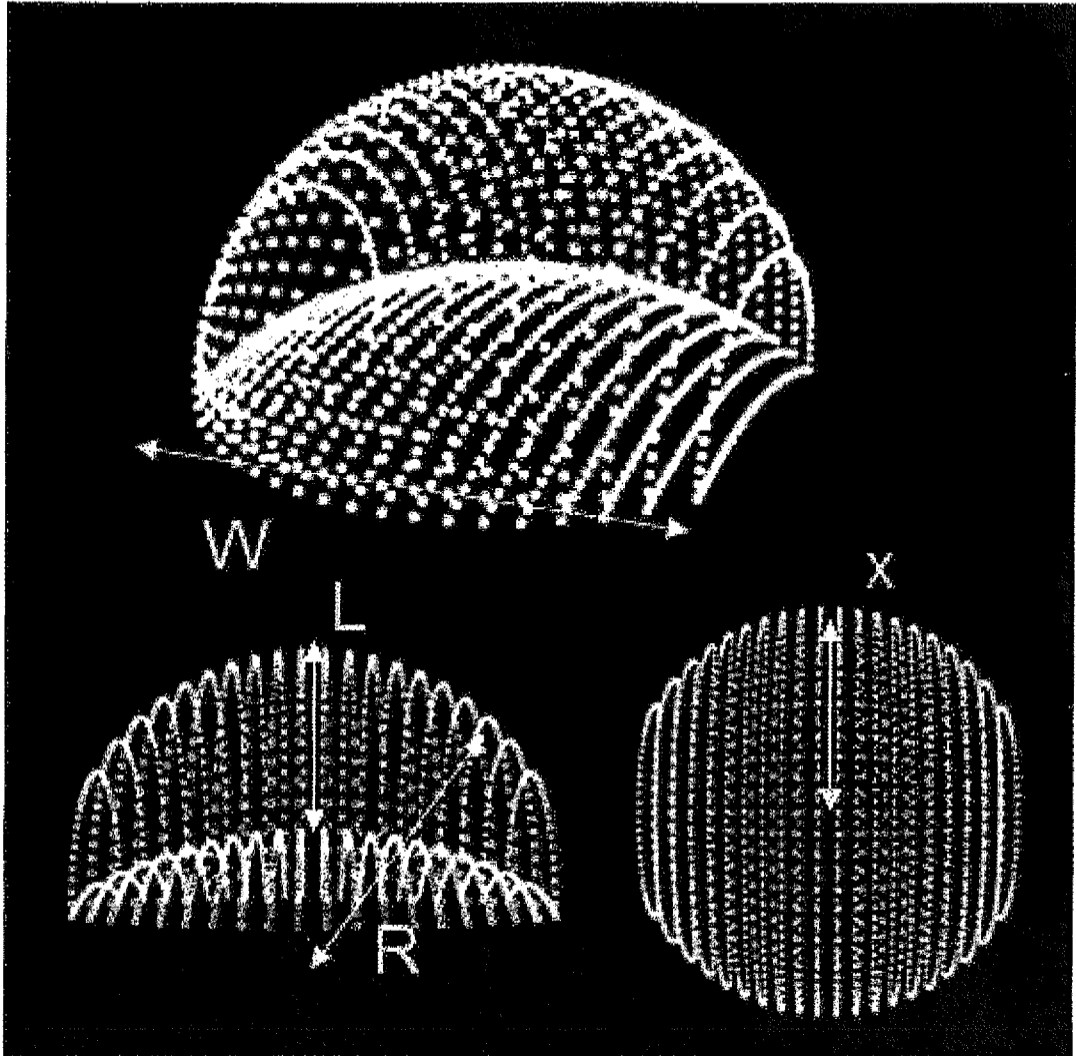


Fig.4

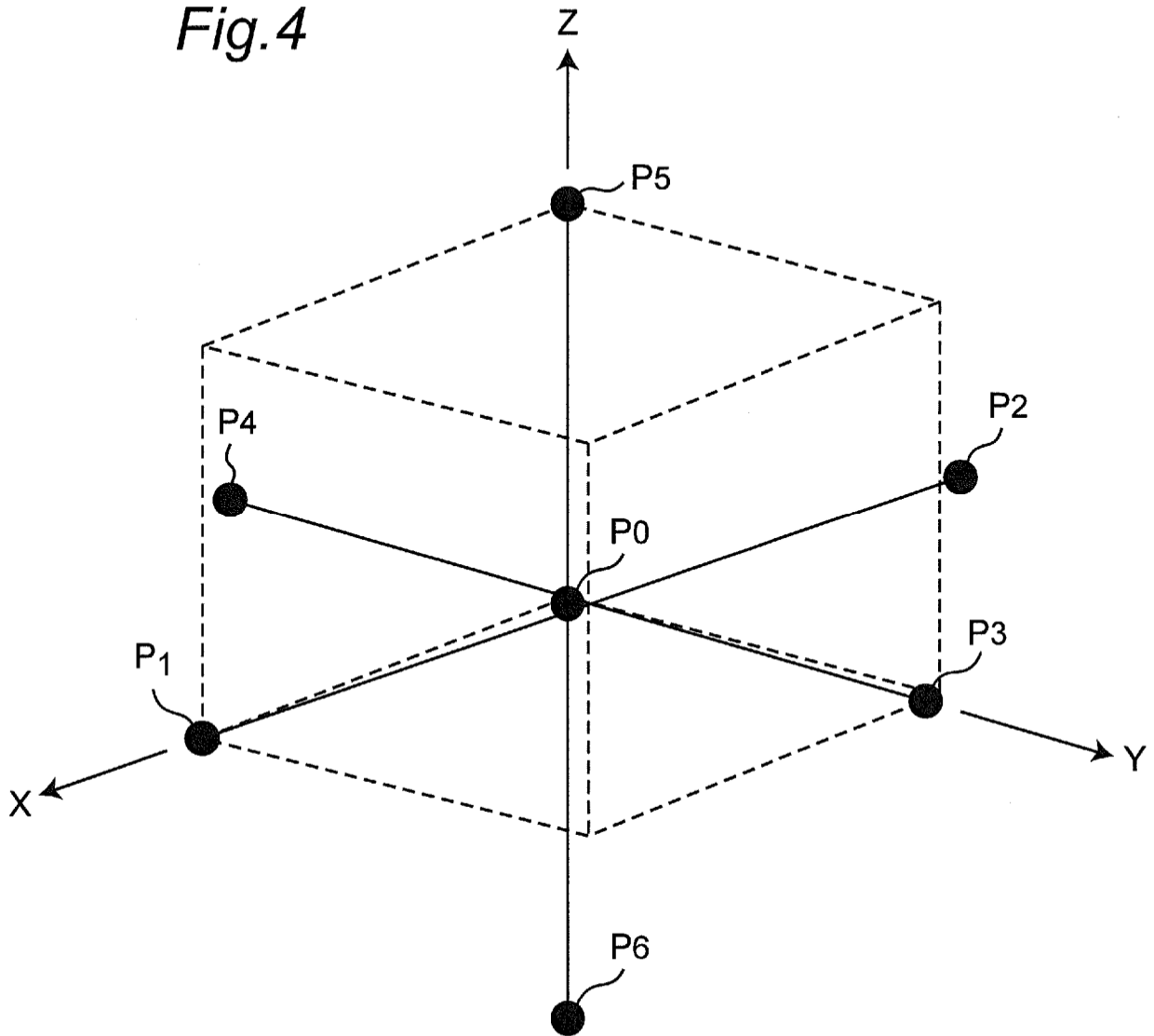


Fig. 5

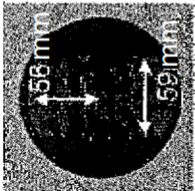
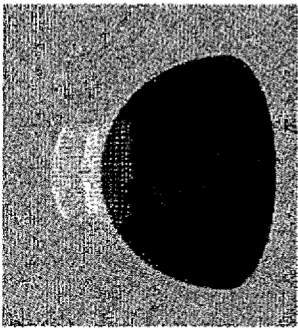
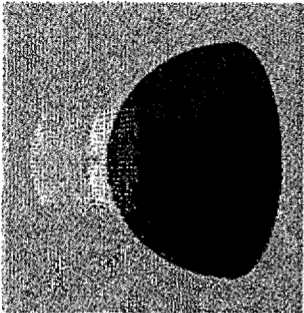
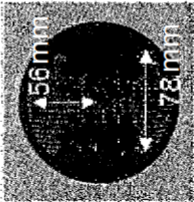
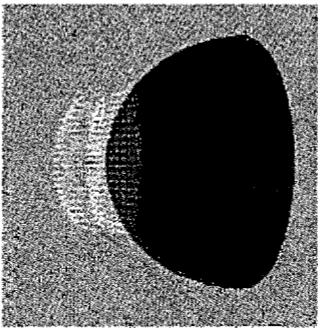
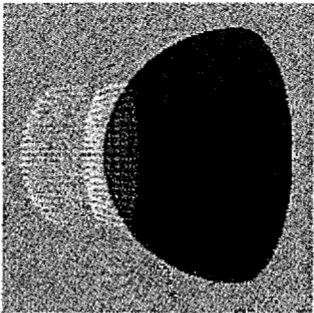
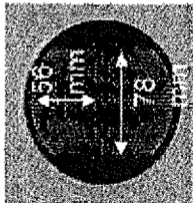
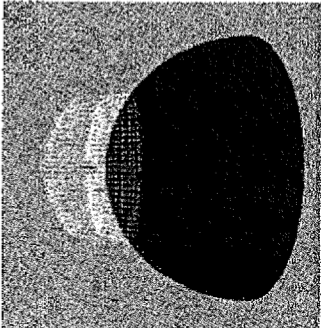
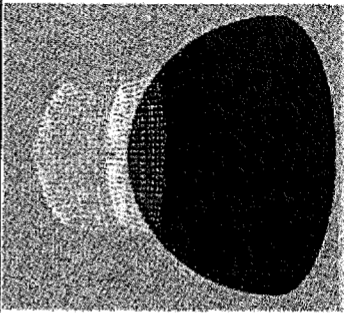
ALTURA DE LA BOBINA L	L=21 mm	L=39 mm
MODELO M1 (d=1 mm, N=20, W=59 mm) 		
MODELO M2 (d=2 mm, N=20, W=78 mm) 		
MODELO M3 (d=1 mm, N=26, W=78 mm) 		

Fig.6

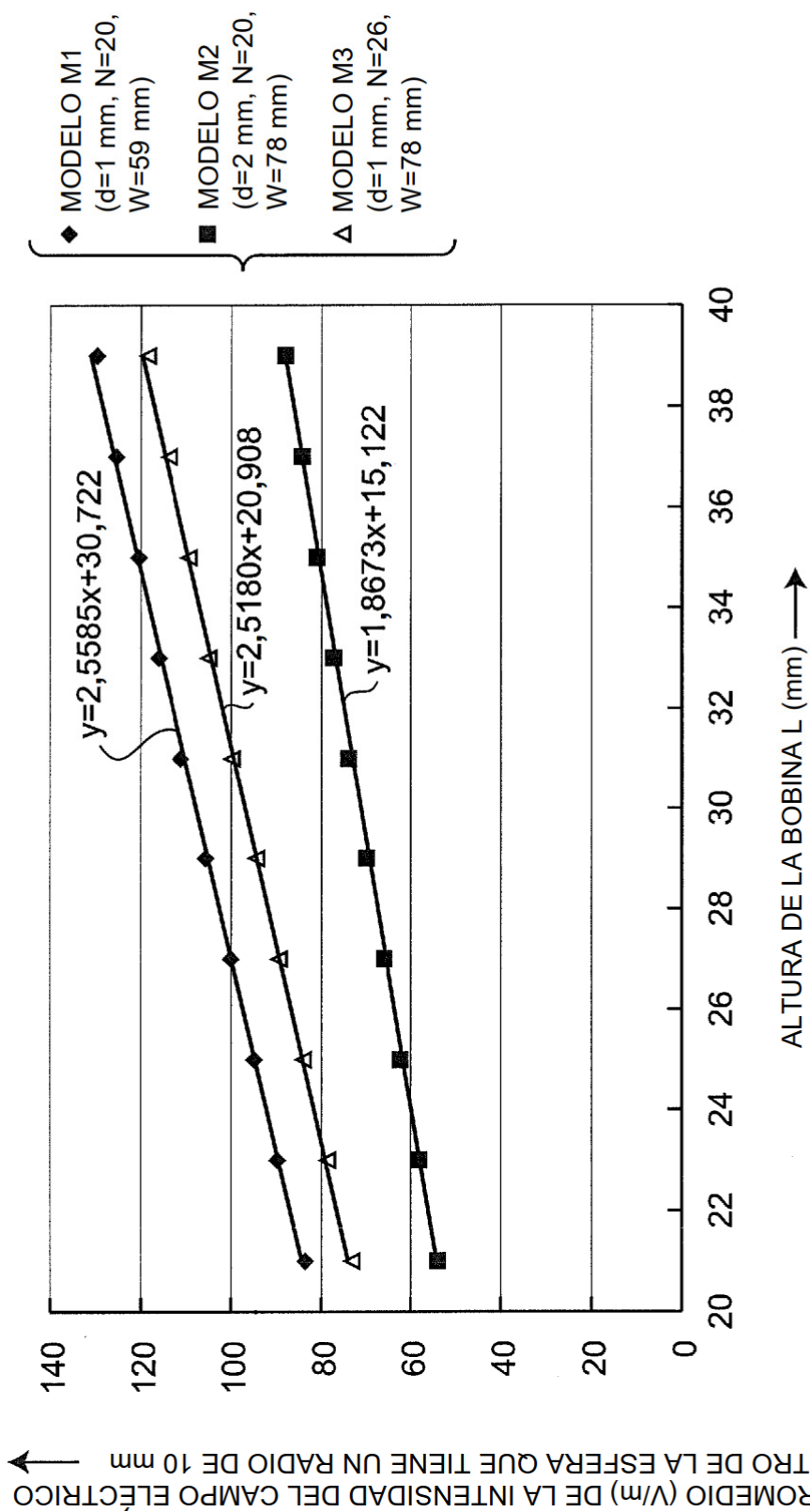


Fig. 7A

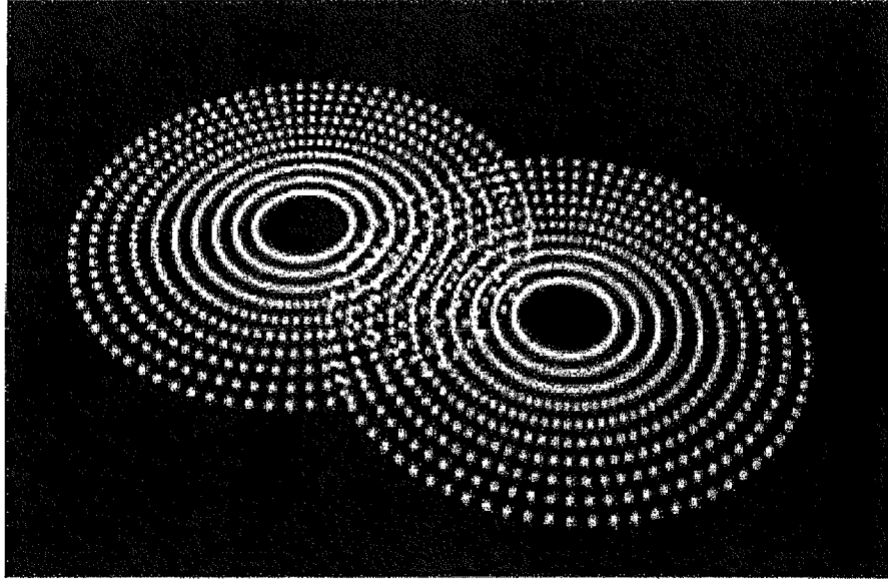


Fig. 7B

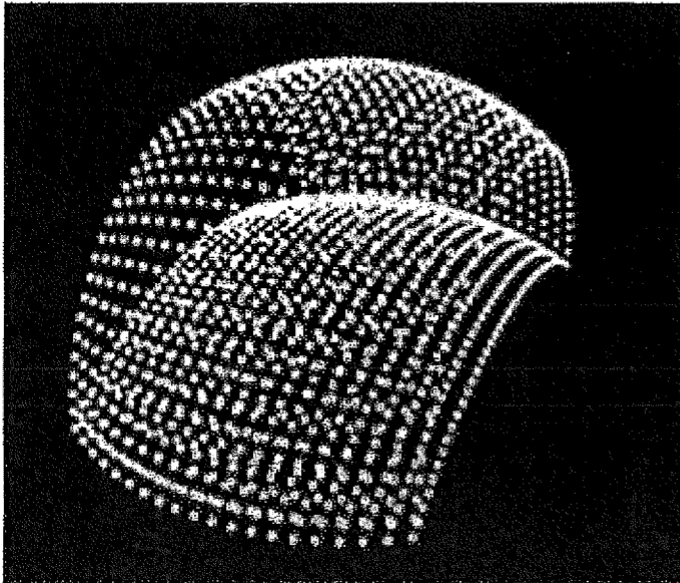


Fig.8A

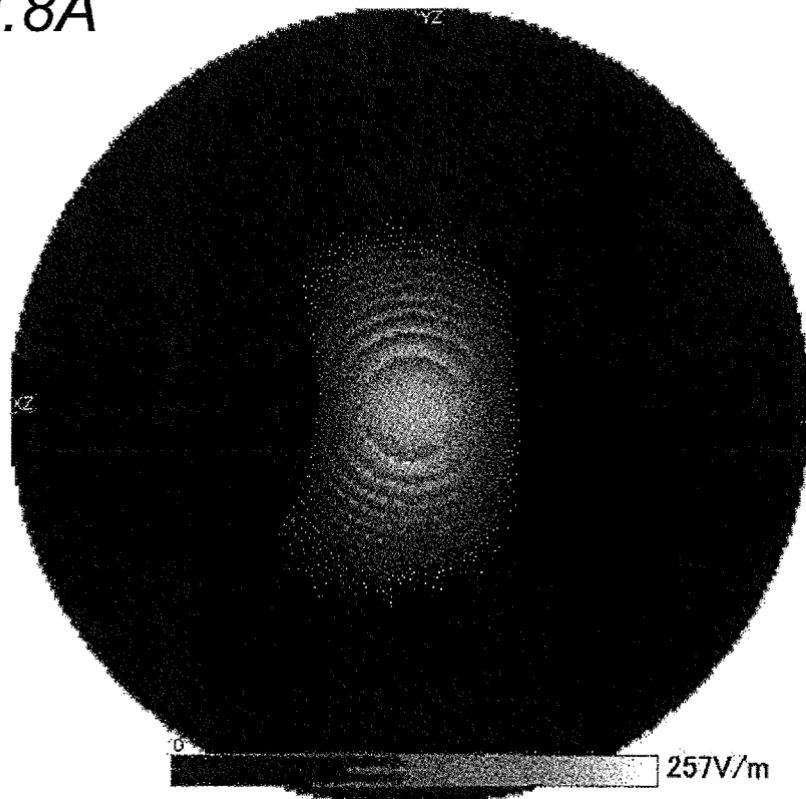


Fig.8B

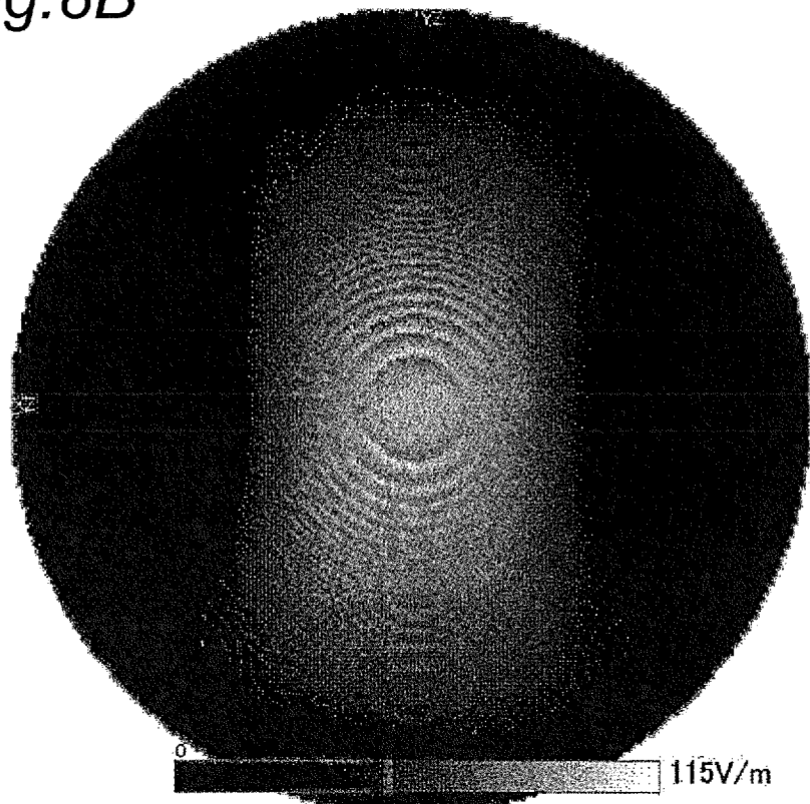


Fig.9A



Fig.9B

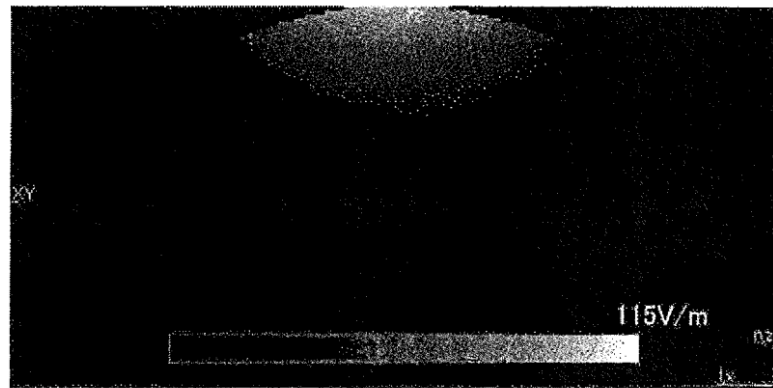
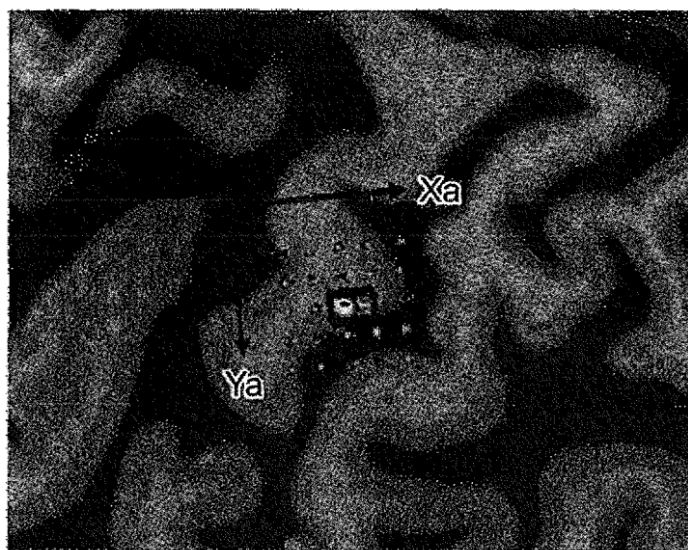
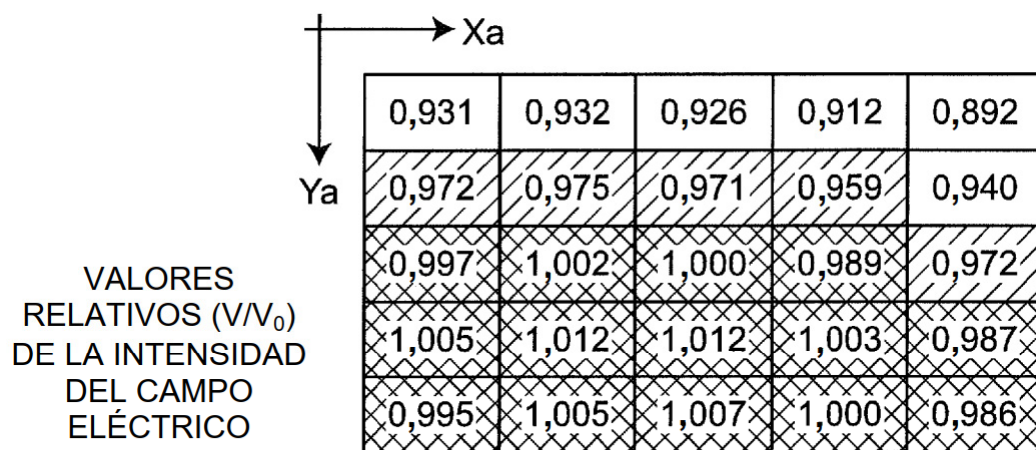


Fig.10A



DELANTERA

POSTERIOR

Fig. 10B*Fig. 10C*