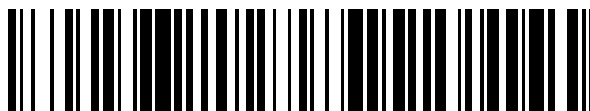


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 610 390**

51 Int. Cl.:

A61N 1/34 (2006.01)

A61N 2/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.03.2004 PCT/US2004/006763**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.09.2004 WO04080527**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.03.2004 E 04717988 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.10.2016 EP 1606013**

54 Título: **Reducción de incomodidad causada por estimulación eléctrica**

30 Prioridad:

07.03.2003 US 452477 P

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

27.04.2017

73 Titular/es:

**NEURONETICS, INC. (100.0%)
3222 Phoenixville Pike
Malvern, PA 19355, US**

72 Inventor/es:

**RIEHL, MARK, EDWARD y
MILLER, STANFORD, W.**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 610 390 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

Reducción de incomodidad causada por estimulación eléctrica

Campo de la invención

5 La invención se refiere al campo de la estimulación magnética. Específicamente, la invención se refiere a sistemas para reducir la incomodidad creada por estimulación magnética.

Antecedentes de la invención

10 Una serie de dolencias médicas se tratan o se pueden tratar mediante la aplicación de estimulación eléctrica a una porción afectada del cuerpo de un paciente. Dos ejemplos de estimulación eléctrica pueden incluir estimulación magnética o inductiva que puede hacer uso de un campo magnético cambiante, y estimulación eléctrica o capacitiva en la que se puede aplicar un campo eléctrico al tejido. Neuronas, células musculares y de tejidos son todas formas de circuitos biológicos capaces de transportar señales eléctricas y responder a estímulos eléctricos. Por ejemplo, cuando se pasa un conductor eléctrico a través de un campo magnético, se induce un campo eléctrico que hace que fluya corriente en el conductor. Debido a que diversas partes del cuerpo también actúan como conductor, cuando se aplica un campo magnético cambiante a la porción del cuerpo se crea un campo eléctrico que hace que la corriente fluya. En el contexto del tejido biológico, por ejemplo, el flujo resultante de corriente eléctrica estimula el tejido haciendo que las neuronas en el tejido se despolaricen. Además, en el contexto de los músculos, por ejemplo, los músculos asociados con las neuronas estimuladas se contraen. En esencia, el flujo de corriente eléctrica permite al cuerpo simular reacciones químicas típicas y a menudo deseadas.

20 La estimulación eléctrica tiene muchos efectos biológicos beneficiosos y terapéuticos. Por ejemplo, el uso de la estimulación magnética es eficaz en la rehabilitación de los grupos musculares lesionados o paralizados. Otra área en la que la estimulación magnética está demostrando ser eficaz es el tratamiento de la columna vertebral. La médula espinal es difícil de acceder directamente porque las vértebras la rodean. La estimulación magnética puede usarse para bloquear la transmisión del dolor a través de nervios en la espalda (por ejemplo, los responsables del dolor de espalda baja). Además, a diferencia de otros procesos médicos que estimulan el cuerpo, la estimulación eléctrica puede ser no invasiva. Por ejemplo, el uso de campos magnéticos para generar corriente en el cuerpo produce estimulación pasando el campo magnético a través de la piel de un paciente.

30 La estimulación magnética también ha demostrado ser eficaz en regiones estimuladoras del cerebro, que está compuesto predominantemente de tejido neurológico. Un área de interés terapéutico particular es el tratamiento de trastornos neuropsiquiátricos. Se cree que más de 28 millones de personas en los Estados Unidos sufren de algún tipo de trastorno neuropsiquiátrico. Estos incluyen condiciones específicas como depresión, esquizofrenia, manía, trastorno obsesivo-compulsivo, trastornos de pánico, por nombrar sólo algunos. Una condición particular, la depresión, es la denominada frecuentemente "resfriado común" de los trastornos psiquiátricos, que se cree afectan a 19 millones de personas en los Estados Unidos, y posiblemente 340 millones de personas en todo el mundo. La medicina moderna ofrece a los pacientes de depresión una serie de opciones de tratamiento, incluyendo varias clases de medicamentos antidepresivos como los inhibidores selectivos de la recaptación de serotonina (ISRS), MAI, tricíclicos, litio y terapia electroconvulsiva (ECT). Sin embargo, muchos pacientes siguen sin alivio satisfactorio de los síntomas de la depresión. Hasta la fecha, la ECT sigue siendo el "estándar de oro" de los tratamientos para la depresión severa; sin embargo, muchos pacientes no se someterán al procedimiento debido a sus efectos secundarios severos.

40 Recientemente, se ha demostrado que la estimulación magnética transcraneana repetitiva (EMTr) tiene efectos antidepresivos significativos para los pacientes, incluso aquellos que no responden a los métodos y medicamentos tradicionales. En una realización de la rTMS, se aplica una estimulación subconvulsiva a la corteza prefrontal de una manera repetitiva, provocando una despolarización de las membranas neuronales corticales. Las membranas se despolarizan mediante la inducción de pequeños campos eléctricos, generalmente por encima de 1 voltio por centímetro (V/cm). Estos pequeños campos eléctricos son resultantes de un campo magnético rápidamente cambiante aplicado de forma no invasiva.

50 Es bien conocido para los expertos en la técnica que tanto las regiones de la corteza prefrontal izquierda como la derecha del cerebro tienen enlaces de comunicación fuertes con las estructuras del sistema límbico, que contienen los "circuitos" que controlan el estado de ánimo y el comportamiento general. Un objetivo de la rTMS es proporcionar estimulación a estos circuitos biológicos a través de una técnica no invasiva subconvulsiva para aliviar los síntomas de la depresión sin muchos de los efectos secundarios negativos de la ECT o de medicamentos. Sin embargo, uno de los efectos secundarios reportados de la rTMS para el tratamiento de la depresión es el malestar del paciente en el sitio de la estimulación. Este malestar es causado, en parte, por la despolarización de las membranas neuronales en el cuero cabelludo y las contracciones del cuero cabelludo resultantes que se producen a la frecuencia de la EMTr. Las pruebas han demostrado que aproximadamente el 25% de los pacientes con rTMS informan que esta

5 molestia está en un nivel que es muy incómodo. En general, cuanto mayor es la potencia y mayor es la frecuencia de la estimulación magnética terapéutica, más molestias se reportan. Sin embargo, la reducción de los niveles de potencia puede no ser una opción viable porque se ha demostrado que una potencia mayor estimula deseablemente estructuras más profundas. También, se ha demostrado que las frecuencias relativamente más altas (por ejemplo, mayores de 1 Hertz (Hz)) tienen un mayor efecto antidepresivo.

Por lo tanto, es deseable desarrollar técnicas para reducir la incomodidad causada por la estimulación eléctrica.

10 El documento US6497648 describe un dispositivo para aplicar terapia electromagnética generando secuencialmente campos electromagnéticos pulsantes para tratar a un paciente que necesita la terapia. La US6389318 describe un dispositivo transcutáneo de transferencia de energía que tiene un blindaje magnético que cubre el devanado primario del dispositivo para reducir la sensibilidad del dispositivo a objetos conductores en la proximidad de las bobinas y para aumentar el porcentaje de campo magnético generado por la bobina primaria que alcanza la bobina secundaria.

Sumario de la invención

15 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un sistema para reducir la incomodidad causada por un dispositivo de estimulación magnética, tal como se define en la reivindicación independiente adjunta 1. Otras características preferibles se definen en las reivindicaciones dependientes adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es un diagrama de bloques que ilustra una técnica para reducir la incomodidad causada por la estimulación transcutánea;

20 La Figura 2 es un diagrama de bloques que ilustra otra técnica para reducir la incomodidad causada por la estimulación transcutánea;

La Figura 2A es un diagrama de bloques que ilustra otra técnica para reducir la incomodidad causada por la estimulación transcutánea;

25 La Figura 3 es un diagrama de bloques que ilustra otra técnica para reducir la incomodidad causada por la estimulación transcutánea;

La Figura 4 es un diagrama de bloques que ilustra otra técnica para reducir la incomodidad causada por la estimulación transcutánea;

La Figura 5 es un diagrama de bloques que ilustra otra técnica para reducir la incomodidad causada por la estimulación transcutánea;

30 La Figura 6 es un diagrama de bloques que ilustra otra técnica para reducir la incomodidad causada por la estimulación transcutánea;

La Figura 7 es un diagrama de bloques que ilustra otra técnica para reducir la incomodidad causada por la estimulación transcutánea;

35 La Figura 8 es un diagrama de bloques que ilustra otra técnica para reducir la incomodidad causada por la estimulación transcutánea;

La Figura 9 es un diagrama de flujo que ilustra una técnica para tratar a un paciente usando estimulación transcutánea;

La Figura 10 es un diagrama de flujo que ilustra una técnica para tratar a un paciente usando estimulación transcutánea;

40 Las Figuras 11-18 ilustran otras configuraciones de conductores posibles para reducir la incomodidad causada por la estimulación transcutánea;

La Figura 19 proporciona un ejemplo de otra configuración de conductor posible para reducir la incomodidad causada por la estimulación transcutánea;

Las figuras 20 y 21 ilustran un ejemplo de configuraciones para la colocación de dos conductores para reducir el

malestar causado por la estimulación transcutánea;

Las Figuras 22A y 22B representan gráficamente la comparación del campo eléctrico creado por un dispositivo de núcleo magnético tanto con como sin cancelación por la colocación de dos conductores para reducir el malestar causado por la estimulación transcutánea; y

- 5 Las figuras 23 y 24 ilustran una realización con seis conductores utilizados para reducir los campos creados por un dispositivo de núcleo magnético para reducir la incomodidad causada por la estimulación transcutánea.

Descripción detallada de la realización ilustrativa

Visión de conjunto

- 10 En la Figura 19, el signo de referencia "19A" indica: Campo E inducido justo fuera del cráneo. El signo de referencia "19B" indica: Flujo de corriente instantánea en el núcleo

En la figura 20, el signo de referencia "20B" indica: La cancelación de campo no es correcta en esta región. El signo de referencia "20C" indica: Electrodo A 10V. El signo de referencia "20D" indica: La cancelación del campo está bien en esta región. El signo de referencia "20E" indica: La cancelación del campo está bien en esta región. El signo de referencia "20F" indica: Electrodo B -5V.

- 15 En la figura 21, el signo de referencia "21A" indica: Región de estímulo. El signo de referencia "21B" indica: Electrodo. El signo de referencia "21C" indica: Núcleo. El signo de referencia "21D" indica 65.278 mm (2.57") El signo de referencia "21E" indica 40.64 mm (1.6"). El signo de referencia "21F" indica: El electrodo es 3.175 mm (1/8 ") de espesor y se energiza con 3.83V con respecto al electrodo inferior con una excitación de 20.364 Amp-vueltas @5.2 kHz.

- 20 En la figura 23, el signo de referencia "23A" indica: Región de estímulo. El signo de referencia "23B" indica: Electrodo. El signo de referencia "23C" indica: Núcleo. El signo de referencia "23D" indica: Electrodo. El signo de referencia "23E" indica: Núcleo. El signo de referencia "23F" indica: 1/2 Núcleo. El signo de referencia "23G" indica: Todos los electrodos tienen 3.175 mm (1/8") de altura. El signo de referencia "23H" indica: Electrodo B. El signo de referencia "23I" indica: Electrodo A. El signo de referencia "23J" indica: Electrodo -A. El signo de referencia "23K" indica: Electrodo -B El signo de referencia "23L" indica: 63.5 mm (2.5"). El signo de referencia "23M" indica: 79.375 mm (3.125") El signo de referencia "23N" indica: 41.275 mm (1.625"). El signo de referencia "23P" indica 64.008 mm (2.52") El signo de referencia "23Q" indica: El electrodo V A a -A es 1.86V, el electrodo V B a -B es 3.37V.

- 30 En 1831, Michael Faraday descubrió que la magnitud de un campo eléctrico inducido en un conductor es proporcional a la velocidad de cambio de la densidad del flujo magnético que atraviesa el conductor. La ley de Faraday, bien conocida por los expertos en la técnica, se puede representar como $E \sim -(dB/dt)$, donde E es el campo eléctrico inducido en voltios/metro, dB/dt es la velocidad de cambio de tiempo de la densidad de flujo magnético en Tesla/segundo. En otras palabras, la cantidad de campo eléctrico inducida en un objeto como un conductor está determinada por dos factores: la densidad de flujo magnético y la velocidad de cambio de tiempo de la densidad de flujo. Cuanto mayor sea la densidad de flujo y su derivada, mayor será el campo eléctrico inducido y la densidad de corriente resultante. Debido a que la densidad de flujo magnético disminuye en resistencia como el cuadrado de la distancia desde la fuente del campo magnético, la densidad de flujo es mayor cuanto más cerca está el conductor de la fuente del campo magnético. Cuando el conductor es una bobina, la corriente inducida en la bobina por el campo eléctrico puede aumentarse en proporción al número de vueltas de la bobina.

- 40 Cuando el campo eléctrico es inducido en un conductor, el campo eléctrico crea un flujo de corriente correspondiente en el conductor. El flujo de corriente está en la misma dirección del vector de campo eléctrico en un punto dado. El campo eléctrico de pico se produce cuando dB/dt es el más grande y disminuye en otros momentos. Si el campo eléctrico disminuye, por ejemplo después de un impulso magnético, la corriente fluye en una dirección que tiende a preservar el campo eléctrico (es decir, la Ley de Lenz).

- 45 En el contexto de la estimulación eléctrica de la anatomía, ciertas partes de la anatomía (por ejemplo, nervios, tejido, músculo, cerebro) actúan como conductor y transportan corriente eléctrica cuando se presenta un campo eléctrico. El campo eléctrico puede presentarse a estas partes de la anatomía transcutáneamente aplicando un campo magnético variable en el tiempo (por ejemplo, pulsado) a la porción del cuerpo. Por ejemplo, en el contexto de TMS, se puede aplicar un campo magnético variable en el tiempo a través del cráneo para crear un campo eléctrico en el tejido cerebral, que produce una corriente. Si la corriente inducida es de suficiente densidad, el potencial de la membrana neuronal puede reducirse hasta el punto de que los canales de sodio de la membrana se abran y se crea una respuesta potencial de acción. Un impulso de corriente se propaga entonces a lo largo de la membrana del axón que transmite información a otras neuronas vía modulación de neurotransmisores. Tal estimulación magnética ha demostrado afectar agudamente el metabolismo de la glucosa y el flujo sanguíneo local en el tejido cortical. En el

caso del trastorno depresivo mayor, la desregulación del neurotransmisor y el metabolismo anormal de la glucosa en la corteza prefrontal y las estructuras límbicas conectadas pueden ser una fisiopatología probable. La aplicación repetida de la estimulación magnética a la corteza prefrontal puede producir cambios crónicos en las concentraciones de los neurotransmisores y el metabolismo de modo que la depresión se alivie.

5 Sistemas y métodos para reducir la incomodidad

La Figura 1 es un diagrama de bloques que ilustra una técnica para reducir la incomodidad causada por la estimulación eléctrica. Como se muestra en la figura 1, un sistema 100 incluye un circuito 101 de estimulación por imán. El circuito 101 de estimulación por imán es un circuito eléctrico que proporciona una señal de potencia a un imán principal (no mostrado). La señal de potencia puede ser cualquier señal eléctrica variable en el tiempo capaz de generar un campo eléctrico y/o magnético. El imán principal puede utilizarse para realizar la estimulación magnética transcraneal (rTMS) y/o la estimulación magnética transcraneal repetitiva (rTMS) como se describe en las Patentes de los Estados Unidos Nos. 5,725,471, 6,132,361, 6,086,525 y 6,425,852.

En la siguiente descripción, con fines de explicación y no limitación, se exponen detalles específicos con respecto al sistema 100 y otros sistemas, métodos y técnicas para reducir la incomodidad causada por la estimulación eléctrica. Por ejemplo, se describen en detalle componentes particulares, configuraciones de componentes y ubicaciones, dispositivos, técnicas, etc. Sin embargo, debe apreciarse que la invención no pretende limitarse a estos ejemplos. Los ejemplos, componentes, etc., se proporcionan simplemente para proveer una comprensión de la invención. Será evidente para un experto en la técnica que la invención se puede practicar en otras realizaciones que se apartan de estos detalles específicos. Se omiten las descripciones detalladas de los dispositivos, componentes, técnicas, etc., bien conocidos, para no opacar la descripción de la invención.

El sistema 100 incluye un dispositivo 102 inductivo. El dispositivo 102 inductivo funciona para recibir una corriente inducida sobre él por un cable 107 que lleva una corriente (I) en el circuito 101 de estimulación por imán. La corriente inducida en el dispositivo 102 inductivo por el cable 107 es proporcional a la derivada en el tiempo de la corriente (I) en el circuito 101 de estimulación por imán, con base en principios de inducción eléctrica bien conocidos por los expertos en la técnica. El dispositivo 102 inductivo puede ser cualquier dispositivo que sea capaz de tener una corriente inducida sobre el mismo, incluyendo por ejemplo una bobina de cable y/o un transformador de corriente, bien conocido por los expertos en la técnica. El dispositivo 102 inductivo puede estar en comunicación con un amplificador 103. El amplificador 103 está en comunicación con un procesador 104 de señal. El procesador 104 de señal está en comunicación con una serie de conductores 105a-e. Los conductores 105 pueden ser pequeños electrodos, que tienen una sección transversal pequeña para minimizar el calentamiento debido a las corrientes parásitas inducidas. La dimensión máxima típica puede ser de aproximadamente 5 mm. La forma de los electrodos está determinada por la geometría del campo eléctrico inducido en el tejido superficial. Cuando están en uso, los electrodos están en contacto eléctrico con el tejido superficial, típicamente a través de un gel conductor que reduce la impedancia de contacto a menos de aproximadamente 20 kOhms. También, los conductores 105 pueden estar fijados a una almohadilla 106 flexible de circuito.

La almohadilla 106 flexible de circuito puede estar hecha de un material de tipo Mylar™, poliéster u otro material polimérico que permita que la almohadilla y, de este modo, los conductores 105 se ajusten a los contornos de la zona de tratamiento sobre el paciente y/o ajusten los contornos de el dispositivo de estimulación magnética (por ejemplo, imán con núcleo ferromagnético). La almohadilla 106 flexible de circuito también puede tener un material adhesivo que permita que la almohadilla y, por lo tanto, los conductores 105, se fijen a un lugar en el que el sistema 100 funcione. Además, la almohadilla 106 flexible de circuito puede tener un gel conductor que facilite la conducción de energía eléctrica entre los conductores 105 y la zona de tratamiento. El gel conductor puede cubrirse con un cierre de papel o plástico extraíble (no mostrado) que, cuando se retira, permite que el gel conductor entre en contacto con la zona de tratamiento.

La almohadilla 106 flexible de circuito puede incluir un conector que permita que los componentes del sistema 100 (por ejemplo, el procesador 104 de señal) se fijen fácilmente y se desconecten de él. Además, la almohadilla 106 flexible de circuito puede tener ciertos materiales aislantes para evitar la conducción indeseable de energía eléctrica con el paciente y/o con componentes del sistema 100.

La almohadilla 106 flexible de circuito también puede incluir mecanismos de eliminación eléctrica o física que requieran una nueva almohadilla de circuito flexible para ser utilizada con cada tratamiento. Alternativamente, el mecanismo de eliminación puede permitir una cierta almohadilla de circuito flexible un cierto número de veces y/o ser utilizado por un determinado paciente. Por lo tanto, el mecanismo de eliminación puede prohibir el reutilizado indeseable de la almohadilla 106 flexible de circuito y, por lo tanto, facilitar el uso sanitario de la almohadilla 106 flexible de circuito, tanto para un paciente individual como para numerosos pacientes.

En funcionamiento, cuando el circuito 101 de estimulación principal recibe energía de una fuente de alimentación externa (no mostrada) para conducir la estimulación apropiada del paciente, la corriente (I) viaja a través del circuito 101 de estimulación principal. El circuito 101 de estimulación principal está conectado a un dispositivo de

estimulación magnética (por ejemplo, un electroimán) (no mostrado) que crea un campo o campos magnéticos diseñados para proporcionar tratamiento a un área particular del paciente. Como se muestra en la figura 1, proporcionar energía al dispositivo de estimulación magnética crea campos 108a-f magnéticos.

5 Como se discute en las Patentes de Estados Unidos Nos. 5,725,471, 6,132,361, 6,086,525 y 6,425,852, los campos 108a-f magnéticos actúan para estimular nervios, tejidos y músculos, etc. en el paciente con fines terapéuticos o de tratamiento. La corriente (I) viaja a través del circuito 101 de estimulación por imán y al dispositivo 102 inductivo a través del cable 107. Debe apreciarse que el dispositivo 102 inductivo puede estar situado en serie con y/o en paralelo con el circuito 101 de estimulación principal, o en cualquier configuración de comunicación eléctrica directa o indirecta.

10 El dispositivo 102 inductivo funciona para detectar una corriente (I) proporcionada al circuito 101 de estimulación por imán al recibir un valor eléctrico inducido que se basa en la corriente (I) que pasa al circuito 101 de estimulación por imán. Por ejemplo, el valor recibido por el dispositivo 102 inductivo puede ser un voltaje inducida que es proporcional a un cambio en la corriente (I) en amperios dividida por la cantidad de tiempo en la que tiene lugar el cambio de corriente. Esto se expresa matemáticamente como $E = L \, di/dt$, donde E es el voltaje inducida, di es el cambio de corriente, dt es la cantidad de tiempo en que tiene lugar el cambio de corriente, y L representa las propiedades inductivas eléctricas del dispositivo 102. En una realización, el voltaje inducida, por ejemplo, puede proporcionarse entonces a un amplificador 103. El amplificador 103 funciona para manipular (por ejemplo, aumentar) el voltaje inducida E según lo requerido por el sistema 100 y por el procesador 104 de señal.

20 El procesador 104 de señal recibe la señal de voltaje inducida amplificada desde el amplificador 103 y puede operar para manipular adicionalmente la señal dependiendo de las características del sistema 100. Por ejemplo, el procesador 104 de señal puede operar para invertir una polaridad de la señal del amplificador 103. De esta manera, los campos magnéticos y/o eléctricos creados por el dispositivo de estimulación magnética están en polaridad sustancialmente opuesta a los campos magnéticos y/o eléctricos creados por los conductores 105.

25 También, el procesador 104 de señal puede operar para asegurar que la temporización de los campos creados por el dispositivo de estimulación magnética y los conductores 105 se genere sustancialmente de manera simultánea. En particular, debido a que el procesador 104 de señal recibe una señal de la circuitería que alimenta el dispositivo de estimulación magnética, el procesador 104 de señal puede operar para "regular" o activar la señal a los conductores 105 al mismo tiempo que el dispositivo de estimulación magnética está cerrado. De esta manera, los campos del dispositivo de estimulación magnética están presentes sustancialmente al mismo tiempo que están presentes los campos de los conductores 105. La sincronización de los campos puede facilitar además la capacidad de los campos de los conductores 105 para eliminar o reducir los efectos indeseables de los campos del dispositivo de estimulación magnética.

35 Por lo tanto, el amplificador 103 y/o procesador 104 de señal facilitan además la cancelación de los campos desde el dispositivo de estimulación magnética y los conductores 105, según se desee (por ejemplo, en o cerca del cuero cabelludo de un paciente de rTMS). La manipulación precisa de la señal por el procesador 104 de señal y/o amplificador 103 dependerá de muchas variables incluyendo las características físicas y eléctricas del sistema 100, del paciente y del área de tratamiento, y de los conductores 105, por nombrar sólo algunos. Recibiendo la señal del amplificador 103 y comprendiendo las características de las otras variables, el procesador de señales 104 puede estar adaptado para proporcionar la sincronización y resistencia apropiadas de la señal a los conductores 105 para crear los campos apropiados, en el momento apropiado, en la ubicación apropiada.

40 En sólo una realización en el contexto de la rTMS o TMS, el imán de estimulación puede aplicarse a una cierta posición en la cabeza del paciente para determinar la cantidad mínima de corriente inducida requerida para afectar las neuronas del paciente particular. Por ejemplo, la ubicación de "prueba" puede ser el centro motor del paciente, ya que los resultados son fáciles de identificar porque una parte del cuerpo del paciente puede moverse en respuesta a la dosis apropiada. Una vez que se determina la dosis apropiada en el centro del motor, el imán estimulador con la almohadilla 106 flexible de circuito unida puede colocarse en el lugar de tratamiento particular para afectar a las neuronas necesarias para tratar la depresión del paciente.

45 El procesador 104 de señal puede entonces proporcionar la señal (por ejemplo, una señal variable en el tiempo) a los conductores 105. Proporcionar la señal a los conductores 105 hace que una corriente fluya en los conductores 105, lo que a su vez crea un campo eléctrico que se genera cerca de cada uno de los conductores. Este campo eléctrico puede utilizarse para compensar los campos eléctricos y magnéticos creados por el dispositivo de estimulación magnética que crean incomodidad en el paciente, sin afectar adversamente el efecto terapéutico deseado de esos campos magnéticos. Por ejemplo, en el contexto de la rTMS o TMS, los campos eléctricos y/o magnéticos creados por los conductores 105 pueden estar diseñados para eliminar y/o reducir los campos magnéticos creados por el dispositivo de estimulación magnética en la superficie del cuero cabelludo que crean incomodidad en el paciente, sin reducir la eficacia del campo magnético creado por el dispositivo de estimulación magnética dentro del área que se desea tratar (por ejemplo, el cerebro).

- 5 Con el fin de asegurar que los campos magnéticos creados por los conductores 105 reduzcan la incomodidad al paciente sin disminuir la utilidad del tratamiento, se pueden variar ciertas características del sistema 100. Aunque no se pretende que sean exclusivas, tales variaciones pueden incluir la modificación de las características eléctricas (por ejemplo, conductividad) y características físicas (por ejemplo, área superficial) de los conductores 105. El procesador 104 de señal puede diseñarse para escalar la señal de voltaje aplicada hacia arriba y/o hacia abajo hasta un nivel que permite a los conductores 105 reducir la incomodidad causada por el dispositivo de estimulación magnética en el paciente. Además, el amplificador 103 puede ser diseñado para amplificar la señal de voltaje inducida hacia arriba y/o hacia abajo. Debe apreciarse que el sistema 100 puede incluir cualquier combinación de variación de las características mencionadas anteriormente.
- 10 Además de depender de las características del sistema 100, la cantidad y las características del sistema pueden variar dependiendo de las características particulares del paciente. Por ejemplo, en el contexto de la rTMS o TMS, tales características específicas pueden incluir, pero no estar limitadas a, la forma y tamaño de la cabeza del paciente, la cantidad y densidad de cabello en la cabeza del paciente, el área particular del cráneo que se desea tratar, etc.
- 15 La Figura 2 es un diagrama de bloques que ilustra otra técnica para reducir la incomodidad causada por la estimulación eléctrica. Como se muestra en la Figura 2, un sistema 200 incluye una almohadilla 106 flexible de circuito que tiene un número de conductores 202a-e. La almohadilla 106 flexible de circuito puede tener un material adhesivo que permita que la almohadilla y, por lo tanto, los conductores, se fijen a un lugar en el que el sistema 200 funcione. Los conductores 202 pueden ser electrodos pequeños, que tienen una dimensión máxima de aproximadamente 5 mm. Además, los conductores pueden variar en sus características eléctricas (por ejemplo, conductividad) y características físicas (por ejemplo, tamaño y forma) dependiendo de su colocación en la almohadilla 106 flexible de circuito con relación al área que se está tratando sobre el paciente. Cada uno de los conductores 202 puede estar en comunicación con uno o más bucles 204 de captación a través de uno o más cables 205a-f. Además, los conductores 202 pueden tener otra conexión a uno o más bucles 204 de captación a través de uno o más cables 206. En estos casos, el cable 206 puede utilizarse para crear un potencial de voltaje o diferencia de voltaje en los conductores 202. También, el cable 206 puede estar conectado a un potencial de tierra (por separado o conectado a tierra al paciente bajo tratamiento) para crear la diferencia de voltaje. El potencial de voltaje creado en cada uno de los conductores 202 crea un campo eléctrico deseado. Aunque sólo se muestra un cable 206 en la figura 2 con propósitos de claridad, debe apreciarse que cada uno de los conductores 202 puede tener una conexión de referencia de voltaje similar unida a la misma.
- 20
- 25
- 30 El bucle 204 de captación puede ser cualquier material conductor que tenga cualquier forma particular (por ejemplo, cable recto, bobina en bucle, etc.). Además, los cables 205a-f pueden ser cualquier material conductor capaz de transportar una señal eléctrica desde el bucle 204 de captación a los conductores 202. El bucle 204 de captación y los cables 205 pueden ser una parte integrada de la almohadilla 106 flexible de circuito. También, el bucle 204 de captación y los cables 205 pueden ser componentes individuales independientes de la almohadilla 106 flexible de circuito que puede ser movida en diversos lugares de tratamiento durante el funcionamiento.
- 35
- 40 Como se ha comentado con referencia a la figura 1, se aplica una corriente (I) a un dispositivo de estimulación magnética (no mostrado) para producir un campo magnético pulsado (que tiene una densidad de flujo B) que está diseñado para proporcionar tratamiento médico (por ejemplo, TMS) a un paciente. En funcionamiento, el bucle 204 de captación puede colocarse en cualquier lugar dentro o muy cerca del campo magnético pulsado o en un campo magnético similar que sea proporcional al campo terapéutico. El campo terapéutico induce un campo eléctrico (E1) en el tejido superficial cuyas líneas de flujo se muestran como 203a-f. Este campo eléctrico, E1, es proporcional a dB/dt. Las líneas de flujo de campo magnético (B) son ortogonales a estas líneas de campo eléctrico.
- 45
- 50 El bucle de captación puede estar conectado a través de los conductores 205 directamente (o indirectamente) entre un electrodo (202a-e) y un punto de referencia de tierra o un segundo electrodo. A medida que el campo magnético cruza el bucle 204 de captación, se genera una corriente en el bucle 204 de captación y se puede establecer un voltaje entre los electrodos conectados que es generalmente proporcional a $-dB/dt$ y $-dI/dt$ sobre ciertas regiones próximas a los electrodos. Este voltaje crea un campo eléctrico proporcional (E2) en el tejido superficial entre los electrodos. Puesto que este campo eléctrico aplicado (E2) puede estar diseñado para ser inversamente proporcional al campo eléctrico inducido (E1), hay una sustracción dondequiera que los campos se superpongan, lo que da como resultado la reducción deseada de la incomodidad.
- 55 Con el fin de distribuir eficazmente el campo eléctrico de cancelación (E2) pueden usarse múltiples electrodos. En este caso, el voltaje generado por el bucle 204 de captación, que es proporcional al campo magnético creado por el dispositivo de estimulación magnética, puede proporcionarse a cada uno de los conductores 202 a través de los cables 205. Como resultado, pueden establecerse voltajes entre los diversos conductores 202 y creando campos eléctricos correspondientes entre cada uno de los conductores 202. Los campos eléctricos creados por los conductores 202 están diseñados de tal manera que se reduce la estimulación indeseada del paciente (por ejemplo, en el cuero cabelludo), pero la estimulación deseada (por ejemplo en el cerebro) creada por el campo magnético del dispositivo de estimulación magnética no se ve comprometida. Por ejemplo, en el contexto de la estimulación

magnética transcraneal, los campos eléctricos creados por los conductores 202 pueden operar para reducir el impacto del campo magnético del dispositivo de estimulación magnética cerca de la superficie del cuero cabelludo, permitiendo al mismo tiempo que los campos magnéticos del electroimán penetren más profundamente dentro de la cabeza y deseablemente estimulen el cerebro.

5 La resistencia y la ubicación deseadas de los campos creados por los conductores 202 pueden variar dependiendo de las características del paciente y del sistema 200, como se ha discutido anteriormente. Aunque no son exclusivos de las técnicas para variar la resistencia y la ubicación de los campos eléctricos creados por los conductores 202, los campos eléctricos pueden variarse modificando el número de vueltas, el área de la sección transversal del bucle 204 de captación o interponiendo un dispositivo de amplificación (por ejemplo, transformador) entre el bucle de
10 captación y los electrodos como se describe en el sistema 300, figura 3. Otra técnica para variar la intensidad de campo eléctrico creada por los conductores 202 incluye el uso de más de un bucle de captación y la variación de la ubicación de los bucles de captación con respecto al campo magnético.

15 Mediante la detección de la fuerza del campo magnético creado por el dispositivo de estimulación magnética, el bucle 204 de captación puede crear campos (mediante la comunicación con conductores 202) que son capaces de eliminar o reducir los efectos no deseados del dispositivo de estimulación magnética, a la vez que permite el efecto terapéutico del dispositivo de estimulación magnética (por ejemplo, TMS). El tamaño preciso y la localización de los campos creados por los conductores 202 pueden determinarse mediante la adición vectorial, como es bien conocido por los expertos en la técnica, de los campos correspondientes creados por los conductores 202 y por el dispositivo de estimulación magnética.

20 La figura 2A es un diagrama de bloques que ilustra otra técnica para reducir la incomodidad causada por la estimulación eléctrica. En concreto, la figura 2A muestra otra configuración de bobinas de captación y colocación de conductores, en comparación con la que se muestra en la figura 2. Como se muestra en la figura 2A, los conductores 209a-f están distribuidos sobre la almohadilla 106 flexible de circuito. Los conductores 209 también están en comunicación con bobinas 210a-d de captación. Los cables 207a-d están conectados desde el conductor
25 209 a las bobinas 210a-d de captación, respectivamente. Además, las bobinas 210a-d de captación están conectadas a un punto de referencia de voltaje (por ejemplo, referencia de tierra) a través de los cables 208a-d, respectivamente. La referencia de voltaje puede proporcionarse por separado, proporcionada como parte de la almohadilla de circuito flexible y/o proporcionarse mediante la unión al paciente bajo tratamiento.

30 En funcionamiento, cada una de las bobinas 210 de captación proporciona un cierto valor de voltaje predeterminado a cada uno de sus respectivos conductores 209. El valor de voltaje preciso proporcionado por las bobinas 210 de captación a los conductores 209 puede basarse en el campo eléctrico y/o magnético que se desea crear por cada uno de los conductores 209 para compensar los efectos indeseables del dispositivo de estimulación magnética (no mostrado). El diseño del valor de voltaje puede hacerse variar dependiendo del tamaño y construcción de los conductores 209, así como del tamaño y la construcción de las bobinas 210 de captación. Por ejemplo, los valores
35 de voltaje posibles se indican en la figura 2A. Estos valores de voltaje se proporcionan simplemente a efectos de ejemplo y para proporcionar más la explicación.

40 En sólo una realización, por ejemplo, la bobina de captación 210d puede proporcionar -2 voltios a cada uno de los conductores 209e y 209f. Además, la bobina de captación 210c puede proporcionar -1 voltio al conductor 209, mientras que la bobina de captación 210b proporciona +1 voltio al conductor 209c. Los conductores 209a y 209b pueden recibir cada uno +2 voltios de la bobina de captación 210a. Los valores de voltaje y la polaridad de el voltaje pueden basarse en el campo eléctrico y/o magnético que se desea crear en cada uno de los conductores 209. Por ejemplo, se puede aplicar un valor de voltaje más alto (por ejemplo, 5 voltios) a los conductores 209c y 209d en reconocimiento de que se crean mayores intensidades de campo indeseables por el dispositivo de estimulación magnética en esa ubicación. Además, al establecer un voltaje similar pero con polaridad diferente, los conductores
45 pueden trabajar en tándem (por ejemplo, 209a y b, 209c y d, y 209e y f) para crear los campos deseados.

Aunque no se muestra en la figura 2A, debe apreciarse que puede crearse un potencial de voltaje individualmente en cada uno de los conductores 209. En particular, puede crearse un potencial de voltaje (por ejemplo, potencial de tierra) en uno o más conductores 209 para generar un campo deseado. Además, debe apreciarse que el número de bobinas 210 y conductores 209 puede variar dependiendo de la aplicación particular.

50 La figura 3 es un diagrama de bloques que ilustra otra técnica para reducir la incomodidad causada por la estimulación eléctrica. Como se muestra en la figura 3, un sistema 300 es similar al sistema 200, discutido con referencia a la figura 2. Además de los componentes mostrados en el sistema 200, el sistema 300 incluye también un procesador 301 de señales en comunicación con el bucle 204 de captación a través del cable 302. Como con el procesador 104 de señal, discutido con referencia a la figura 1, el procesador 301 de señales puede operar para
55 manipular el voltaje eléctrico y/o la corriente inducida en el bucle 204 de captación y proporcionada a los conductores 202. En particular, dependiendo de las características del sistema 300, el procesador 301 puede diseñarse para escalar la señal de voltaje y/o corriente inducida hacia arriba y/o hacia abajo hasta un nivel que permita a los conductores 205 crear un campo magnético suficiente para reducir la incomodidad causada por el

dispositivo de estimulación magnética (no mostrado), sin reducir sus efectos terapéuticos.

5 El diseño y la salida del procesador 301 de señales pueden utilizarse en lugar de o en combinación con las modificaciones utilizadas para variar los campos eléctricos creados por los conductores 202, como se ha comentado con referencia a la figura 2 con respecto a las características del bucle 204 de captación. Un amplificador (no
 10 ilustrado), similar al amplificador 103 discutido con referencia a la figura 1, puede ser diseñado para amplificar la señal de voltaje inducida hacia arriba y/o hacia abajo en combinación con el procesador de señales 301. Además, el sistema 300 puede incluir cualquier combinación de variaciones de las características antes mencionadas para permitir que los conductores 202 produzcan campos eléctricos que tienen características apropiadas para reducir la
 15 incomodidad creada por la estimulación eléctrica terapéutica. Por ejemplo, el tener la flexibilidad de variar la señal desde el bucle 204 de captación usando el procesador 301 de señales puede permitir restricciones de criterios de diseño menos estrictas para la construcción y colocación de conductores 202 y, por lo tanto, facilitar la implementación en sitio.

Asimismo, debe apreciarse que el procesador 301 de señales puede estar diseñado para permitir que se apliquen
 20 diferentes intensidades de señal de voltaje y/o corriente individualmente a cada uno de los conductores 202. Esta señal de conductor variable puede ser deseable en ciertas configuraciones. Por ejemplo, como se muestra en la figura 3, las líneas 203a y 203d de campo eléctrico convergen cuando se aproximan al centro de la almohadilla 106 flexible de circuito. Debido a que es bien conocido por los expertos en la técnica que las líneas 203a y 203d de campo pueden añadirse vectorialmente en esta ubicación, dando como resultado una mayor intensidad de campo eléctrico (creada por el dispositivo de estimulación magnética) en este lugar que en otros lugares del sistema 300.

En el contexto de la rTMS y/o TMS, esta mayor intensidad de campo eléctrico puede resultar ventajosamente en una
 25 estimulación ideal del cerebro para el tratamiento de la depresión, por ejemplo. Al mismo tiempo, esta mayor intensidad de campo eléctrico indeseablemente puede dar lugar a una mayor incomodidad en el tejido, el músculo y/o los nervios no cerebrales u otras partes del cerebro que no necesitan ser estimuladas. Por lo tanto, para compensar el efecto indeseable en el que las líneas 203a y 203d de campo eléctrico son más fuertes, el procesador 301 de señales puede aplicar una señal de voltaje y/o corriente mayor a un conductor situado en esta ubicación que a otros conductores. Por ejemplo, el conductor 202c puede recibir una señal de voltaje y/o corriente mayor que los otros conductores porque está situado en el área en la que las líneas 203a y 203d de campo eléctrico son más fuertes. Por lo tanto, el procesador 301 de señales puede permitir que el conductor 202c cree un campo eléctrico relativamente mayor en comparación con los otros conductores.

30 Aunque la discusión sobre la capacidad del procesador 301 de señales para variar la señal de corriente y/o voltaje proporcionada a cada uno de los conductores 202 se ha discutido en el contexto de intensidad de campo, este ejemplo no es exclusivo. Debe apreciarse que otros factores pueden impulsar la decisión de proporcionar señales diferentes a cada uno de los conductores 202. Por ejemplo, la anatomía o sensibilidad de la parte del paciente que se está tratando con respecto a la disposición de los conductores en la almohadilla 106 flexible de circuito puede dar
 35 como resultado que el procesador 301 de señales proporcione una corriente relativamente mayor y/o menor al conductor 202a que los otros conductores. Además, como otro ejemplo, las líneas de flujo creadas por el dispositivo de electroimán principal pueden ser diferentes de las ilustradas en la figura 3 y, por lo tanto, el diseño del procesador de señales 301 puede ser tal que se pueda proporcionar una señal de corriente y/o voltaje mayor a otra de conductores 202. Por lo tanto, debe apreciarse que la discusión no pretende limitarse a cualquiera de los ejemplos anteriores, que simplemente se proporcionan con el propósito de claridad y explicación.

La figura 4 es un diagrama de bloques que ilustra otra técnica para reducir la incomodidad causada por la
 40 estimulación eléctrica. Como se muestra en la figura 4, un sistema 400 incluye una almohadilla 401 de circuito flexible que tiene conductores 402a-d. Aunque los conductores 402 se muestran centrados y espaciados uniformemente sobre la almohadilla 401 de circuito flexible, debe apreciarse que los conductores pueden ser de cualquier tamaño o forma, dispuestos en cualquier configuración y colocados en cualquier lugar en la almohadilla 401 de circuito flexible. También, ilustrada como teniendo una forma de arco, se debe apreciar que la invención no se limita a ningún conductor particularmente configurado. Por ejemplo, los conductores 402 pueden tener cualquier forma, incluyendo las formas representadas en las figuras 1-3, las formas de bobinas circulares, etc. Los conductores 402 también están conectados a un conector 403 común. El conector 403 común puede proporcionar un nivel de voltaje referenciado, por ejemplo, un nivel de voltaje a tierra. También, como se ha expuesto anteriormente, el dispositivo de estimulación magnética (no mostrado) crea líneas de flujo magnético 404a-f

En operación, el sistema 400 utiliza técnicas de blindaje para reducir y/o redistribuir los efectos de campo eléctrico de los campos 404a-f creados por el dispositivo de estimulación magnética y utilizados con fines terapéuticos (por ejemplo, rTMS y TMS). En particular, como se ha discutido anteriormente, las líneas de flujo magnético 404 crean
 45 campos eléctricos que inducen corrientes eléctricas en los nervios, músculos y tejidos del paciente. Ciertos de estos nervios, músculos y tejidos pueden estimularse deseablemente mediante la corriente inducida (por ejemplo, el cerebro en rTMS y TMS). Sin embargo, ciertos otros nervios, músculos y tejidos (por ejemplo, el cuero cabelludo en rTMS y TMS) pueden estimularse indeseablemente por la corriente inducida creada por el dispositivo de estimulación magnética.

Los conductores 402 operan para interrumpir el flujo de corriente en el tejido superficial del paciente, de manera que el sistema 400 puede permitir la estimulación deseable de ciertas partes de la anatomía del paciente, mientras que reduce o elimina la estimulación indeseable de otras partes del paciente. En particular, los conductores 402 pueden estar diseñados con ciertas características físicas y/o eléctricas de manera que ofrezcan una trayectoria de menor resistencia para la corriente inducida que la porción del paciente en la que fluiría la corriente inducida indeseada. Como resultado, los conductores 402 operan para reducir o eliminar la corriente no deseada inducida en una cierta porción del paciente, mientras que todavía permiten que la corriente deseada sea inducida en otra porción del paciente.

Las características de los conductores 402 pueden estar diseñadas para proporcionar la trayectoria de menor resistencia con base en una serie de factores y variables. Por ejemplo, el aumento de la conductividad de los conductores 402 puede lograrse variando las características físicas y/o eléctricas de los conductores 402 en comparación con la porción particular del paciente que se está tratando. También se puede variar la forma y configuración de los conductores 402 con relación a la dirección y la intensidad de los campos magnéticos 404a-f (por ejemplo, los conductores 402 pueden curvarse como se ilustra en la figura 4) para permitir que los conductores 402 proporcionen un camino conductor más grande de menor resistencia. Además, los conductores 402 pueden configurarse y conformarse (por ejemplo, curvados) para permitir que los conductores estén en una disposición sustancialmente perpendicular con respecto a las líneas de campo eléctrico 404a-f con el fin de "interceptar" más de la corriente causada por el campo eléctrico inducido, conduzcan la corriente interceptada a una posición más aceptable y redistribuyan la corriente de nuevo al tejido próximo a la superficie de una manera que minimiza la sensación. Aunque la determinación de la configuración y forma de los conductores 402 puede ser necesaria para reducir o eliminar adecuadamente la corriente inducida no deseada sobre el paciente, debe apreciarse que la invención no está limitada a ninguna forma o configuración particular de los conductores, sino que incluye todas las formas y configuraciones posibles.

En el contexto de la rTMS y TMS, los conductores 402 pueden tener características eléctricas y físicas para redirigir el flujo de corriente lejos del tejido, nervio y músculo encontrados más cerca de la superficie de la cabeza o cuero cabelludo. Una forma de conseguir esto puede ser determinar la conductividad eléctrica típica o específica del tejido, nervio y músculo próximos a la superficie, y diseñar conductores 402 para que tengan una conductividad igual o mayor, según sea necesario. Además, las características eléctricas y físicas de los conductores 402 pueden diseñarse para redirigir la corriente que puede estimular el tejido, nervio y músculo próximos a la superficie sin interferir significativamente con la corriente terapéutica deseablemente inducida en el tejido cerebral bajo tratamiento.

Aunque los conductores 402 se muestran conectados al conector 403 común, debe apreciarse que uno o más de los conductores 402 pueden funcionar independientemente de los otros, o que sólo se puede usar un conductor. Por ejemplo, en el contexto de la rTMS y TMS, es bien conocido por los expertos en la técnica que el nervio trigémino es particularmente sensible a la estimulación eléctrica en comparación con otras áreas prefrontales del cuero cabelludo. Por lo tanto, uno o más conductores 402 pueden operar juntos o independientemente en estrecha proximidad al nervio trigémino para redirigir cualquier campo eléctrico próximo. Además, ciertos conductores 402 pueden estar dedicados específicamente a proteger el nervio trigémino. Además, en el contexto del nervio trigémino, en sólo una realización, el conductor o conductores 402 pueden estar situados directamente sobre el nervio trigémino y unidos directamente al paciente en una dirección consistente con la dirección del nervio. De esta manera, la disposición, el posicionamiento y la configuración del conductor o conductores pueden personalizarse para proteger localmente un tejido, músculo o nervio particular, como el nervio trigémino. Aunque la discusión se ha centrado en la protección del nervio trigémino, debe apreciarse que pueden colocarse uno o más conductores sobre cualquier parte del paciente que pueda ser más o menos sensible o que simplemente se desea proteger. Además, debe apreciarse que la colocación de uno o más conductores sobre el paciente puede usarse en combinación con cualquiera de las otras técnicas descritas con referencia a las figuras 1-3.

La figura 5 es un diagrama de bloques que ilustra otra técnica para reducir la incomodidad causada por la estimulación eléctrica. Como se muestra en la figura 5, un sistema 500 incluye bobinas 503a y 503b conductoras situadas por encima de la cabeza de un paciente 502 y bajo un dispositivo 501 de estimulación magnética (por ejemplo, imán con núcleo ferromagnético). Además, las bobinas 503a y 503b conductoras están en comunicación con un procesador 506 de señales que recibe energía eléctrica desde una fuente 507 de energía. Aunque la disposición del dispositivo 501 de estimulación magnética y las bobinas 503a y 503b conductoras se ilustran en la figura 5 en una cierta configuración con respecto a la cabeza 502 del paciente, debe apreciarse que esta configuración no pretende ser exclusiva, sino simplemente proporcionar un ejemplo con fines de claridad y explicación. Por ejemplo, las bobinas 503a y 503b conductoras pueden estar en contacto directo o indirecto con la cabeza 502 del paciente y/o con el dispositivo 501 de estimulación magnética. Además, las bobinas 503a y 503b conductoras pueden estar situadas fuera de entre la cabeza 502 del paciente y el dispositivo 501 de estimulación magnética. Además, aunque el dispositivo 501 de estimulación magnética se muestra como un imán que tiene un núcleo ferromagnético en forma de arco, debe apreciarse que puede incluir cualquier dispositivo capaz de crear estimulación magnética.

5 Cuando se aplica un voltaje eléctrico y/o corriente al dispositivo 501 de estimulación magnética, se crea un campo magnético que tiene líneas de flujo magnético 505a-d entre los polos del dispositivo 501 de estimulación magnética. El campo magnético pulsado creado por el dispositivo 501 de estimulación magnética y que tiene las líneas de flujo 505a-d crean también un campo eléctrico representado por 504a-e. Por supuesto, como en las figuras 1-4, la representación de las líneas de flujo magnético 505a-d y del campo eléctrico 504a-e son meramente representativas de tales propiedades simplemente para el propósito de una discusión en el contexto de la invención.

10 Tal como se muestra en la figura 5, los campos 504a-e eléctricos se dispersan a medida que se alejan del dispositivo 501 de estimulación magnética. Sin embargo, en la parte superior de la cabeza 502 del paciente (o tal vez en otra ubicación que depende de la ubicación y configuración del dispositivo de estimulación magnética) situado entre los polos del dispositivo 501 de estimulación magnética, las líneas de campo eléctrico 504a-e están situadas más próximas entre sí. También, bien conocidos por los expertos en la técnica, la fuerza del campo eléctrico disminuye como un cuadrado de la distancia alejada de la fuente del campo eléctrico. Estas dos propiedades bien conocidas de campos eléctricos crean una presencia de campo eléctrico relativamente más fuerte en la parte superior de la cabeza 502 del paciente y entre los polos del dispositivo 501 de estimulación magnética. Como resultado, este campo eléctrico relativamente más fuerte a su vez induce una corriente relativamente más grande. En el tejido próximo a la superficie, el músculo y los nervios situados en la parte superior de la cabeza 502 del paciente. En algunos casos, esta corriente relativamente mayor puede causar mayor incomodidad a ciertas partes de la anatomía del paciente (por ejemplo, el cuero cabelludo). El sistema 500 utiliza bobinas 503a y 503b conductoras para ayudar a aliviar el malestar del paciente.

20 Las bobinas 503a y 503b conductoras reciben energía eléctrica desde la fuente 507 de energía a través del procesador de señal 506. Cuando las bobinas 503a y 503b conductoras reciben energía eléctrica, se crea otro campo magnético (B2, no mostrado) por las bobinas 503a y 503b conductoras. El campo magnético (B2) creado por la bobina conductora (en cooperación con la fuente 507 de energía y el procesador de señal 506) puede estar diseñado para reducir, eliminar o contrarrestar las líneas magnéticas del flujo 504a-e, para eliminar molestias causadas por la corriente inducida. En una porción de la cabeza 502 del paciente por el campo eléctrico 504a-e y las líneas magnéticas del flujo 505a-d. La ubicación, tamaño y resistencia del campo magnético 503 de la bobina conductora (B2) necesario para compensar suficientemente el efecto superficial del campo magnético (B) creado por el dispositivo 501 de estimulación magnética puede variar con las circunstancias particulares y la construcción del sistema 500. Por ejemplo, El campo magnético (B2) de compensación necesario creado por las bobinas 503a y 503b conductoras puede variar con el paciente, la construcción y ubicación del dispositivo 501 de estimulación magnética, el tamaño y la construcción de las bobinas 503a y 503b conductoras, y otras circunstancias variables. Además, las bobinas 503a y 503b conductoras pueden enrollarse en una dirección opuesta al dispositivo de estimulación magnética principal.

35 Existen numerosos métodos y técnicas disponibles para acomodar la variación necesaria en el sistema 500 para compensar suficientemente el efecto indeseable de los campos creados por el dispositivo 501 de estimulación magnética. Por ejemplo, el procesador de señal 506 puede recibir una señal de realimentación (no mostrada) del dispositivo 501 de estimulación magnética y/o sus campos eléctricos o magnéticos para crear un campo magnético de tamaño adecuado de las bobinas 503a y 503b conductoras. Esta retroalimentación puede proporcionarse mediante una conexión directa al dispositivo 501 de estimulación magnética o recibiendo una corriente suministrada al dispositivo 501 de estimulación magnética. Utilizando esta entrada, el procesador de señal 506 puede variar el nivel de potencia proporcionado a las bobinas 503a y 503b conductoras y por tanto variar sus campos resultantes y de compensación. Una disposición alternativa es permitir al operador ajustar manualmente los niveles de corriente a las bobinas 503a y 503b basándose en la retroalimentación del paciente, basándose en otra realimentación de señal, o arbitrariamente.

45 También, la disposición, la ubicación y la configuración se pueden variar dependiendo de las circunstancias particulares. Por ejemplo, el número de vueltas o bucles en las bobinas 503a y 503b conductoras puede variarse basándose en la salida del dispositivo 501 de estimulación magnética. También, tal como se representa en la figura 5, un plano de las bobinas 503a y 503b conductoras puede ser ortogonal al campo magnético creado por el dispositivo 501 de estimulación magnética y/o al propio dispositivo 501 de estimulación magnética. Además, las bobinas 503a y 503b conductoras pueden estar diseñadas para tener un cierto área en sección transversal y/o relación de aspecto.

55 Además, aunque se muestran el procesador 506 de señales y la fuente de alimentación 507, el tamaño y la construcción de las bobinas 503a y 503b conductoras pueden diseñarse de tal manera que la fuerza deseada del campo magnético se cree mediante las bobinas 503a y 503b conductoras mismas. Este diseño puede basarse en las propiedades eléctricas de las bobinas 503a y 503b conductoras, tales como la conductividad, el nivel de saturación de campo, la influencia de las líneas de flujo magnético 504a-e en las bobinas 503a y 503b conductoras y las propiedades indeseables de generación de calor de las bobinas 503a y 503b conductoras, etc. Las bobinas conductoras pueden tener núcleos de aire, o núcleos ferromagnéticos de materiales tales como acero al 3% de silicio o permándur de vanadio. Estos son sólo ejemplos de materiales posibles que pueden usarse para crear bobinas 503a y 503b conductoras.

5 Debe apreciarse que las técnicas descritas para llegar al campo magnético de compensación correcto creado por las bobinas 503a y 503b conductoras pueden realizarse mediante una combinación de estas o de cualquier otra técnica. Además, debe apreciarse que el tamaño y la ubicación del campo magnético compensatorio creado por las bobinas 503a y 503b conductoras pueden ser tales que se reduzca el efecto causante de molestia en el tejido, los músculos y los nervios próximos a la superficie, mientras que el efecto terapéutico de las líneas magnéticas del flujo 505a-d en elementos más profundos (por ejemplo, el cerebro) no se afectan negativamente. Por ejemplo, la geometría de las bobinas 503a y 503b conductoras puede variarse de tal manera que sus campos magnéticos no penetren profundamente en el paciente (por ejemplo, bobina de núcleo de aire). Como otro ejemplo, la corriente proporcionada a las bobinas 503a y 503b conductoras puede minimizarse para producir campos magnéticos relativamente débiles.

15 También debe apreciarse que las bobinas 503a y 503b conductoras pueden ser una de una serie de bobinas. En este ejemplo, cada una de las bobinas puede tener características físicas y eléctricas similares o diferentes dependiendo de la parte del campo magnético 501 del dispositivo de estimulación magnética que está diseñada para ser operada. Además, cada bobina de dicho conjunto puede tener un nivel de accionamiento de corriente ajustable por separado que es establecido por el procesador de señal 506 en base a valores preestablecidos, valores determinados empíricamente, retroalimentación detectada, retroalimentación del paciente al operador o ajuste manual independiente por el operador.

20 Las bobinas pueden estar unidas directa o indirectamente a la cabeza 502 del paciente y/o conectadas directa o indirectamente al dispositivo 501 de estimulación magnética. El sistema 500 también puede usar técnicas de apantallamiento para bloquear o reducir los campos magnéticos generados por las bobinas 503a y 503b conductoras de efectuar negativamente el funcionamiento del núcleo ferromagnético 501, o de minimizar el acoplamiento del campo del estimulador (B) con las bobinas conductoras. Por ejemplo, el sistema 500 puede incluir un blindaje magnético (no mostrado) situado en alguna ubicación próxima y/o entre las bobinas 503a y 503b conductoras y el dispositivo 501 de estimulación magnética, para reducir o eliminar el campo magnético entre las bobinas 503a y 503b conductoras y el dispositivo 501 de estimulación magnética. Tales escudos magnéticos pueden fabricarse a partir de materiales de ferrita, como ejemplo.

25 Los componentes mostrados en la figura 5 no son exclusivos, sino que se proporcionan simplemente con fines de explicación. También pueden ser deseables otros componentes. Por ejemplo, la comunicación entre las bobinas 503a y 503b conductoras puede pasar a través de un dispositivo de derivación, con el fin de eliminar cualquier conducción indeseable de energía en el procesador de señal 506.

30 La figura 6 es un diagrama de bloques que ilustra otra técnica para reducir la incomodidad causada por la estimulación eléctrica. Como se muestra en la figura 6, un sistema 600 incluye una o más almohadillas de ferrita 601 situadas por encima de la cabeza de un paciente 502 y bajo un dispositivo 501 de estimulación magnética. Debe apreciarse que la configuración física de las almohadillas de ferrita 601 se ilustra con fines de discusión y claridad, y no se pretende que sea una representación exclusiva de tal configuración. Por ejemplo, como con las bobinas 503a y 503b conductoras discutidas con referencia a la figura 5, las almohadillas de ferrita 601 pueden situarse entre el dispositivo 501 de estimulación magnética y la cabeza 502 del paciente. También, tal como se ha expuesto, las almohadillas de ferrita 601 pueden estar unidas directamente y/o indirectamente al cabezal del paciente 502 y/o directamente o indirectamente conectado al dispositivo 501 de estimulación magnética. Además, el número y la colocación de las almohadillas de ferrita 601 no se limitan a ninguna configuración particular, y pueden usarse conjuntamente con cualquiera de los otros métodos descritos en esta.

35 Las almohadillas de ferrita 601 operan para "absorber" efectivamente el campo magnético y las líneas de flujo magnético 504a-e creadas por el dispositivo 501 de estimulación magnética. En particular, las almohadillas de ferrita 601 pueden diseñarse y construirse para compensar, reducir y/o absorber las líneas de flujo magnético 504a-e que estimulan el tejido próximo a la superficie, permitiendo al mismo tiempo que aquellas líneas de flujo magnético que penetren más profundamente en el paciente con fines terapéuticos pasen sustancialmente no afectadas. Además, usando un material de ferrita, las almohadillas de ferrita 601 típicamente tienen baja conductividad y por lo tanto no estimulan las corrientes parásitas inducidas y el calentamiento asociado o la interrupción temporal del campo magnético terapéutico creado por el dispositivo 501 de estimulación magnética. Debe apreciarse que aunque el sistema 600 ha sido descrito en el contexto del material de ferrita, las almohadillas también pueden estar hechas de otro material no ferrítico y/o una combinación de material de ferrita y materiales no ferríticos.

40 Los componentes mostrados en la figura 6 no son exclusivos, sino que se proporcionan simplemente con fines de explicación. También pueden ser deseables otros componentes. Por ejemplo, en respuesta al campo magnético procedente del dispositivo 501 de estimulación magnética, las almohadillas de ferrita 601 pueden crear campos que se dirigen indeseablemente hacia el dispositivo 501 de estimulación magnética. Tales campos indeseables pueden afectar el funcionamiento y/o la eficacia del dispositivo 501 de estimulación magnética. Por ejemplo, tales campos pueden hacer que el dispositivo 501 de estimulación magnética se sature a un nivel diferente del esperado. Por lo tanto, se pueden usar otros componentes para bloquear o atenuar los campos desde las almohadillas de ferrita 601 hasta el dispositivo 501 de estimulación magnética. Tales técnicas de bloqueo tal vez diseñadas para ser

unilaterales o sustancialmente unilaterales para permitir que los campos pasen desde el dispositivo 501 de estimulación magnética a las almohadillas de ferrita 601, sino para interrumpir los campos desde las almohadillas de ferrita al dispositivo 501 de estimulación magnética.

5 La figura 7 es un diagrama de bloques que ilustra otra técnica para reducir la incomodidad causada por la estimulación eléctrica. Como se muestra en la figura 7, un sistema 700 incluye un dispositivo 702 de estimulación magnética que recibe energía de un circuito de estimulación 703 para crear campos magnéticos (no mostrados) en la cabeza del paciente 706. Como se discutió anteriormente, el dispositivo 702 de estimulación magnética crea campos magnéticos que inducen corriente dentro del paciente para ciertos efectos terapéuticos beneficiosos, como el tratamiento de la depresión usando TMS, por ejemplo. También, sin embargo, los mismos campos magnéticos crean incomodidad para el paciente al inducir indudablemente corriente en tejido, nervios y músculo próximos a la superficie.

15 Se puede usar una bobina 701 de superficie, situada en, o cerca del paciente (y posiblemente entre el paciente y el dispositivo 702 de estimulación magnética) para compensar, eliminar o reducir los efectos no deseados de los campos magnéticos creados por el dispositivo 702 de estimulación magnética. En particular, la bobina 701 de superficie puede generar su propio campo o campos magnéticos que compensan la porción de los campos magnéticos creados por el dispositivo 702 de estimulación magnética que actúan para estimular indeseablemente tejido, nervios y músculos próximos a la superficie. Además, los valores de los campos magnéticos creados por la bobina 701 de superficie pueden ser tales que los campos magnéticos creados por el dispositivo 702 de estimulación magnética que tiene valor terapéutico continuaron siendo transmitidos al paciente sin interferencia sustancial.

20 La resistencia y la temporización de los campos magnéticos, por ejemplo, creados por la bobina 701 de superficie pueden generarse usando una serie de técnicas. Estas técnicas son similares al ejemplo discutido con referencia a las figuras 1-4. Aunque se discutirán estas técnicas, debe apreciarse que estos ejemplos se proporcionan con el propósito de claridad y explicación adicional, pero no se pretende proporcionar ejemplos exclusivos como se contempla en la invención.

25 En una realización, por ejemplo, la fuente 705 de energía proporciona potencia al generador 704 de señal. El generador 704 de señal pasa entonces una señal (por ejemplo, señal de corriente y/o voltaje) a la bobina 701 de superficie para crear un campo magnético desde la bobina 701 de superficie. La intensidad y posición requeridas del campo magnético desde la bobina 701 de superficie pueden ser variadas por el generador 704 de señal o por la fuente 705 de energía. El generador 704 de señal también puede aplicar el tiempo necesario para sincronizar el disparo de los campos creados por la bobina 701 de superficie con el disparo de los campos creados por el dispositivo 702 de estimulación magnética. También se pueden variar las características físicas y eléctricas de la bobina 701 de superficie.

35 En otra realización, por ejemplo, la potencia de funcionamiento y la temporización pueden proporcionarse al generador 704 de señal mediante la inducción de una corriente desde el circuito 703 estimulador. De esta manera, el generador 704 de señal recibiría una señal indicativa del disparo y el valor de la corriente proporcionada al dispositivo 702 de estimulación magnética. Este valor de corriente puede ser traducido por el generador 704 de señal para crear la resistencia y temporización apropiadas para el campo o campos magnéticos creados por la bobina 701 de superficie. La corriente puede inducirse desde el circuito 703 estimulador usando un inductor (no ilustrado) capaz de inducir (y por lo tanto medir) la corriente suministrada al dispositivo 702 de estimulación magnética a través del circuito 703 estimulador.

40 En otra realización, por ejemplo, la bobina 701 de superficie puede funcionar independientemente de cualquier generador de señal externo y fuente de energía, y simplemente generar su campo magnético basado en el campo magnético creado por el dispositivo 702 de estimulación magnética. Usando esta técnica se enfoca en las características eléctricas y físicas de la bobina 701 de superficie. En particular, la bobina 701 de superficie puede estar diseñada para reaccionar al campo magnético creado por el dispositivo 702 de estimulación magnética de manera que permita que los campos magnéticos terapéuticos penetren al paciente, eliminando o reduciendo los campos magnéticos que indeseablemente estimulan nervios, tejidos y músculos próximos a la superficie.

45 Tal como se ha comentado con referencia a las figuras 1-4, la bobina 701 de superficie puede ser una parte de una almohadilla de circuito flexible que tiene un material adhesivo que permite que la almohadilla se fije a un lugar de tratamiento. Alternativamente, la bobina 701 de superficie puede fijarse al dispositivo 702 de estimulación magnética. También, cuando se usa más de una bobina 701 de superficie, algunas bobinas de superficie pueden estar unidas a una almohadilla de circuito flexible, mientras que otras bobinas de superficie pueden fijarse al dispositivo 702 de estimulación magnética.

50 La Figura 8 es un diagrama de bloques que ilustra otra técnica para reducir la incomodidad causada por la estimulación eléctrica. Como se muestra en la figura 8, un sistema 800 incluye una fuente 801 de alimentación en comunicación con los electrodos 802a y 802b. Aunque se muestran dos electrodos en la figura 8, debe apreciarse

que puede utilizarse cualquier número de electrodos.

Como se ha expuesto anteriormente, el dispositivo 501 de estimulación magnética crea líneas 505a-d magnéticas de flujo, que a su vez crean campos 504a-e eléctricos. Los campos 504a-e eléctricos inducen tanto corrientes eléctricas deseables como indeseables sobre y dentro de la cabeza 502 del paciente. El sistema 800 supera la incomodidad creada por las corrientes eléctricas no deseadas, permitiendo al mismo tiempo que las corrientes eléctricas deseadas continúen teniendo su efecto terapéutico sobre el paciente. En particular, la fuente 801 de alimentación proporciona potencia (es decir, corriente y/o voltaje) a los electrodos 802. Los electrodos 802 conducen la energía desde la fuente 801 de alimentación a la cabeza 502 del paciente.

La potencia proporcionada a los electrodos 802 puede ser sustancialmente constante o variable en el tiempo. Cuando la potencia es sustancialmente constante, la potencia conducida a la cabeza 502 del paciente a través de los electrodos 802 crea un campo eléctrico sustancialmente constante en los nervios, músculos y tejidos del paciente que se encuentran entre los electrodos 802 o próximos a los mismos. El campo eléctrico creado por electrodos 802 puede tener una resistencia que polariza ciertas células (es decir, aquellas que son indeseablemente estimuladas por el dispositivo 501 de estimulación magnética). El nivel de polarización puede ser tal que las células estén sesgadas cerca o por encima de su nivel de despolarización. Al polarizar las células en o cerca de su nivel de despolarización, los electrolitos, por ejemplo, se redistribuyen a lo largo de la célula, reduciendo así la capacidad de los electrolitos de ser transportados a través de la membrana celular. La reducción de la capacidad de los electrolitos de ser transportados a través de la membrana celular reduce la posible estimulación de esas células por el dispositivo 501 de estimulación magnética, porque las células pueden no ser capaces de responder repetidamente al campo eléctrico inducido creado por el dispositivo 501 de estimulación magnética. Como resultado, la molestia sentida por el paciente durante el tratamiento se reduce. Aunque este ejemplo se ha discutido en el contexto de una fuente de potencia sustancialmente constante, debe apreciarse que la potencia no necesita ser aplicada a lo largo de todo el tratamiento, sino que puede ser, por ejemplo, desactivada en cualquier punto después del comienzo de un impulso correspondiente a la estimulación magnética terapéutica.

Además de, o en lugar de, una fuente de alimentación sustancialmente constante proporcionada cuando se aplica la estimulación magnética, la potencia proporcionada por la fuente de energía 801 puede variar en función del tiempo. La señal que varía en el tiempo desde la fuente de energía 801 puede utilizarse para desensibilizar el músculo, tejido y/o nervios que indeseablemente son estimulados por el dispositivo 501 de estimulación magnética. En particular, la fuente de energía 801 puede diseñarse para estimular previamente (es decir, antes del pulso terapéutico aplicado por el dispositivo 501 de estimulación magnética) nervios, músculos y/o tejidos particulares para reducir su capacidad de responder indeseablemente al pulso terapéutico de otro modo.

Por ejemplo, en el contexto de TMS, las constantes de tiempo de respuesta para los nervios corticales oscilan típicamente entre 50 y 100 microsegundos, mientras que las constantes de tiempo de respuesta para los nervios periféricos (por ejemplo, cuero cabelludo) oscilan entre 200 y 300 microsegundos. Debido a que los nervios periféricos son más lentos de recuperación que los nervios corticales, la estimulación de los nervios periféricos justo antes de la aplicación de la estimulación magnética terapéutica reduce la capacidad de los nervios periféricos para responder a la estimulación magnética terapéutica y reduce así el malestar que el paciente siente como consecuencia de la estimulación magnética terapéutica.

Aunque se ha discutido el sistema 800 en el contexto de electrodos que tienen contacto directo con la cabeza 502 del paciente, debe apreciarse que el sistema 800 también puede aplicar energía eléctrica al paciente inductivamente, por ejemplo, usando bobinas de estimulación de superficie. Además, mientras que el sistema 800 fue descrito en el contexto de los nervios corticales y sus nervios periféricos, debe apreciarse que el sistema 800 puede aplicarse a cualquier circunstancia en la que los nervios que se desea estimular tengan un tiempo de respuesta equivalente o más rápido que los nervios que no se desea estimular. Además, debe apreciarse que la sincronización y frecuencia requeridas de la señal de polarización o desensibilización proporcionada al paciente pueden variar con muchos factores, incluyendo las características del paciente y las características del dispositivo 501 de estimulación magnética.

El sistema 800 también se puede usar en combinación o independiente de un fármaco que actúa para desensibilizar los nervios, el músculo y el tejido que es indeseablemente estimulado por el dispositivo 501 de estimulación magnética. Por ejemplo, se puede usar un fármaco tóxico o inyectado para desensibilizar o aislar los nervios, músculo y tejido frente a la estimulación magnética. Tales procedimientos pueden incluir un analgésico, un anestésico, un relajante muscular, o un agente paralítico, por ejemplo. Estos fármacos pueden aplicarse antes del tratamiento terapéutico del dispositivo 501 de estimulación magnética.

La Figura 9 es un diagrama de flujo que ilustra una técnica 900 para tratar a un paciente usando estimulación magnética transcutánea. Como se muestra en la figura 9, en la etapa 901, un campo magnético es dirigido a un área de tratamiento en el paciente. En la etapa 902, se aplica una almohadilla de circuito flexible al área de tratamiento, que puede incluir el dispositivo de estimulación del paciente y/o magnético. En la etapa 903, se aplica un material de gel conductor entre la almohadilla de circuito flexible y el paciente. En la etapa 904, el paciente es tratado con el

campo magnético.

La figura 10 es un diagrama de flujo que ilustra una técnica 1000 para tratar a un paciente usando estimulación magnética transcutánea. Como se muestra en la figura 10, en la etapa 1001, una porción del cerebro se estimula magnéticamente. En la etapa 1002, se proporciona una señal al conductor y en la etapa 1003 se crea un campo eléctrico y/o magnético por el conductor. En la etapa 1004, la intensidad y la ubicación del campo eléctrico y/o magnético se ajustan en función de la estimulación magnética. En la etapa 1005, la estimulación proximal cutánea se reduce y/o se elimina usando los campos eléctricos y/o magnéticos creados por el conductor. En la etapa 1006, el paciente es tratado con la estimulación magnética. Los pasos de la técnica 1000 se pueden llevar a cabo usando los sistemas descritos con referencia a las figuras 1-8 o cualquier otro sistema.

Como se muestra en las figuras 11-18, se muestran otras configuraciones de conductores posibles. De nuevo, debe apreciarse que tales configuraciones no pretenden proporcionar exclusividad, sino que están destinadas a proporcionar detalles explicativos adicionales. La invención puede incluir cualquiera de las configuraciones mostradas, así como cualquier combinación de esas configuraciones.

Como se ha comentado, la colocación y configuración de los conductores dependerá de muchas variables, incluyendo las características del dispositivo de estimulación, las características del paciente y las características de los conductores, por nombrar sólo en unos pocos. Aunque la invención incluye todas estas posibles configuraciones, la figura 19 proporciona un ejemplo particular para mayor claridad y explicación. En una realización ilustrada en la figura 19, un dispositivo de núcleo magnético puede construirse para ser parcialmente hemisférico, extenderse aproximadamente a 220° y puede estar construido de láminas de acero con 3% de silicón. En este ejemplo de realización, el dispositivo de núcleo magnético puede enrollarse con ocho espiras de 3,264 mm de diámetro (# 8 de cable americano Gauge (AWG)). El dispositivo de núcleo magnético también puede estar compuesto de acero M-19 que se satura a 1.7 Tesla. Además, el núcleo puede excitarse a 20.364 AT, RMS, que corresponde a una corriente pico de 3600 Amperios, suministrada al 100% de potencia. Además, la frecuencia de la corriente puede ser 5208 Hz, lo que corresponde a un período de 192 microsegundos.

El campo magnético creado por este dispositivo penetra fácilmente a través del hueso. En el contexto de TMS, donde el campo magnético estimula deseablemente el cerebro, pero indeseablemente estimula nervios, músculos y tejidos próximos al cuero cabelludo, se ilustra un análisis tridimensional de campo en la figura 19. Como se muestra en la figura 19, el campo eléctrico circula alrededor del campo magnético creado por un dispositivo 1901 de núcleo magnético. Aunque el campo eléctrico creado por el dispositivo 1901 de núcleo magnético es circular, los campos eléctricos creados por los conductores típicamente no lo son, excepto los campos locales producidos por los conductores.

La figura 20 ilustra una posible colocación de dos conductores 2001 y 2002. Los conductores 2001 y 2002 se muestran situados con respecto al dispositivo 1901 de núcleo magnético, pero debe apreciarse que los conductores pueden estar situados con referencia a cualquier objeto, incluyendo la cabeza del paciente, por ejemplo. En este ejemplo particular, se puede colocar un voltaje de aproximadamente 10 voltios sobre el conductor 2001 y se puede colocar un voltaje de aproximadamente -5 voltios en el electrodo 2002.

Las regiones circunscritas por las casillas 2003 y 2004 indican zonas en las que los campos creados por los conductores 2001 y 2002 efectivamente anulan o reducen los campos indeseables creados por el dispositivo 1901 de núcleo magnético. También se pueden variar los voltajes aplicadas a los conductores 2001 y 2002 para lograr la cancelación o reducción óptima de los campos en las regiones deseadas. También pueden existir regiones en las que los campos no se reducen o eliminan óptimamente, como la región circunscrita por la casilla 2005.

Con el fin de determinar el tamaño óptimo del conductor, la configuración y la ubicación, el campo eléctrico creado por el dispositivo 1901 de núcleo magnético, el conductor 2001 y el conductor 2002 puede considerarse en numerosos puntos específicos o ubicaciones y analizarse en consecuencia. El campo eléctrico en cualquier punto de la superficie de las tres fuentes puede ser representado por la siguiente ecuación:

$$\vec{E}_{total} = \left\{ E_z^{magA} + V_1 E_z^{elecA} - V_2 E_z^{elecB} \right\} \hat{a}_z + \left\{ E_\theta^{magA} + V_1 E_\theta^{elecA} - V_2 E_\theta^{elecB} \right\} \hat{a}_\theta. \quad (1)$$

Además, la suma de todos los campos puede ser representada por la siguiente ecuación:

$$S = \sum_{all\ points} \sqrt{\left(E_z^{magA} + V_1 E_z^{elecA} - V_2 E_z^{elecB} \right)^2 + \left(E_\theta^{magA} + V_1 E_\theta^{elecA} - V_2 E_\theta^{elecB} \right)^2}. \quad (2)$$

$E^{mag A}$ representa el valor del campo eléctrico creado por el dispositivo 1901 de núcleo magnético en un punto

particular. De forma similar, $E^{\text{elec A}}$ y $E^{\text{elec B}}$ representan los valores de los campos eléctricos creados por el conductor 2001 y el conductor 2002, respectivamente, en el mismo o en un punto particular similar. Además, E_z representa el campo eléctrico vertical y E_N representa los campos azimutales. Se puede realizar una simulación por ordenador para permitir que el conductor 2001 y el conductor 2002 varíen en su ubicación, tamaño y configuraciones para determinar la cancelación de campo óptima de los campos indeseables en las ubicaciones deseadas. Por ejemplo, se puede permitir que el conductor 2001 y el conductor 2002 se muevan verticalmente, se extiendan azimutalmente y, por ejemplo, se ajusten sus dimensiones. Además, las ecuaciones pueden usarse para determinar los voltajes óptimos que se aplicarán al conductor 2001 (V_A) y al conductor 2002 (V_B).

La figura 21 ilustra una realización en la que sólo se usa un par de conductores 2101 y 2102 para reducir los campos creados por el dispositivo 1901 de núcleo magnético. Típicamente, se puede usar un par de conductores para reducir o disminuir campos en la zona en la que el dispositivo crea la concentración de campo más fuerte (por ejemplo, para el dispositivo 1901 de núcleo magnético a lo largo del eje del núcleo). El voltaje a través de los conductores 2101 y 2102 se puede fijar en 3.83 voltios y los conductores pueden ser aproximadamente 3.175 mm (1/8 de pulgada) de espesor. La señal de excitación puede ser de 20.364 amperios en 5.2 kilohertz. El conductor 2101 y el conductor 2102 se colocan aproximadamente 20.32 mm (0,8 pulgadas) por encima y por debajo de la línea media del dispositivo 1901 de núcleo magnético. Se corta una sección de un cuarto del dispositivo 1901 de núcleo magnético para ayudar a la visibilidad.

Las figuras 22A y 22B representan gráficamente la comparación del campo eléctrico creado por el dispositivo 1901 de núcleo magnético, tanto con y sin cancelación por los conductores 2101 y 2102. En particular, como se muestra en las figuras 22A y 22B, la presencia del conductor(s) plegar el patrón de campo eléctrico del dispositivo 1901 de núcleo magnético a lo largo del eje del núcleo en $\Theta=0$, desplazándolo así del eje. Como resultado, el campo de pico sobre la superficie cae de 4.91 voltios/centímetro sin cancelación a aproximadamente 4.46 voltios/centímetro con cancelación.

La figura 23 ilustra una realización en la que se utilizan seis conductores 2301-2306 para reducir los campos creados por el dispositivo 1901 de núcleo magnético. En este ejemplo particular, los seis conductores forman dos pares de voltajes, con los conductores 2301 y 2302 emparejados entre sí, mientras que los conductores 2303-2306 se aparean. Como se muestra en la figura 23, los conductores 2303-2306 tienen aproximadamente 39.6875 mm (1.5625 pulgadas) por encima y por debajo de la línea media del dispositivo 1901 de núcleo magnético. También, los conductores 2301 y 2302 son cada uno 20.6350 mm (0.8125 pulgadas) por encima y por debajo de la línea media del dispositivo 1901 de núcleo magnético. La anchura de los conductores 2301 y 2302 puede ser de 64.01 mm (2.52 pulgadas) mientras que la anchura de los conductores 2303-2306 puede ser de 29.72 mm (1.17 pulgadas). Se puede crear un voltaje de 1.86 voltios entre los conductores 2301 y 2302, mientras que se puede crear un voltaje de 3.37 voltios entre cualquier par de conductores 2303-2306. Además, los conductores 2301-2306 pueden tener un espesor de 3.175 mm (1/8 de pulgada).

Con la configuración de conductor ilustrada en la figura 23, el campo de superficie de pico del dispositivo 1901 de núcleo magnético puede reducirse de 4.91 voltios/centímetro sin la cancelación a 4.36 voltios/centímetro con cancelación.

Como se ha comentado, la forma de onda de voltaje para los conductores debe ser cronometrada con la generación de campos creados por el dispositivo de estimulación para maximizar la cancelación deseable. En particular, el voltaje proporcionada a los conductores puede ser temporizada con la corriente en el dispositivo de estimulación. La figura 25 proporciona sólo un ejemplo de realización de tal configuración de temporización posible. Como se muestra en la figura 25, utilizando un dispositivo de núcleo magnético y un circuito de estimulación similar al descrito con referencia a las figuras 19-24, por ejemplo, se puede considerar la temporización apropiada de la aplicación de señales de voltaje a los conductores con respecto al ejemplo TMS discutido.

Como se ha expuesto anteriormente, el voltaje inducido en la piel es proporcional a la derivada del campo magnético. Además, debido a que la conductividad del dispositivo de estimulación es típicamente relativamente pequeña, la derivada del campo magnético creado por el dispositivo de estimulación es sustancialmente similar a la derivada de la corriente proporcionada al dispositivo de estimulación. En la figura 24, el gráfico superior ilustra que la corriente para el dispositivo 1901 de núcleo magnético en función del tiempo es una senoide en descomposición. El gráfico inferior ilustra el potencial del conductor acompañante necesario para realizar la cancelación y/o reducción del campo. Aunque la corriente comienza a la corriente puede comenzar un cero, el voltaje en el electrodo no. La Tabla I proporciona un ejemplo de los valores de el voltaje del conductor en diferentes configuraciones junto con la corriente del núcleo. En particular, a medida que la corriente de excitación del núcleo magnético se desplaza, el voltaje del conductor también debe escalar.

55

ES 2 610 390 T3

Tabla I Voltaje de la corriente y del electrodo en función del tiempo

	Tiempo (ms)	Corriente (A)	Un par de conductores (V)	Dos pares A (V)	Dos pares B (V)
	5	620	5.289	2.568	4.654
5	10	1100	5.334	2.590	4.693
	15	1620	5.416	2.630	4.766
	20	2100	5.406	2.625	4.757
	25	2740	4.961	2.409	4.365
	30	3100	3.982	1.934	3.504
10	35	3580	2.516	1.222	2.214
	40	3620	0.858	0.417	0.755
	45	3660	-0.590	-0.286	-0.519
	50	3500	-1.749	-0.849	-1.539
	55	3260	-2.589	-1.258	-2.278
15	60	3020	-3.307	-1.606	-2.909
	65	2700	-4.011	-1.948	-3.529
	70	2220	-4.508	-2.189	-3.967
	75	1740	-4.666	-2.266	-4.105
	80	1300	-4.640	-2.254	-4.083
20	85	860	-4.619	-2.243	-4.064
	90	420	-4.677	-2.271	-4.115
	95	0	-4.788	-2.325	-4.213
	100	-560	-4.715	-2.290	-4.148
	105	-1040	-4.373	-2.124	-3.848
25	110	-1320	-4.097	-1.990	-3.605
	115	-1800	-3.869	-1.879	-3.404
	120	-2080	-3.515	-1.707	-3.093
	125	-2520	-2.873	-1.395	-2.528
	130	-2720	-1.908	-0.927	-1.679
30	135	-2840	-0.883	-0.429	-0.777
	145	-2840	1.082	0.526	0.952
	150	-2640	1.879	0.912	1.653
	155	-2440	2.470	1.200	2.174
	160	-2240	2.991	1.452	2.632
35	165	-1800	3.290	1.598	2.894
	170	-1560	3.418	1.660	3.008
	175	-1200	3.561	1.729	3.133
	180	-920	3.655	1.775	3.216
	185	-480	3.439	1.670	3.026
40	190	-160	2.690	1.306	2.367
	195	100	1.532	0.744	1.348
	200	220	0.310	0.150	0.273
	205	0	-0.358	-0.174	-0.315
	210	0	-0.463	-0.225	-0.408

45 Tabla I Voltaje de la corriente y del electrodo en función del tiempo

50 Debe entenderse que las realizaciones ilustrativas anteriores han sido proporcionadas únicamente con propósitos de explicación y no deben considerarse en modo como limitativas de la invención. Las palabras usadas aquí son palabras de descripción e ilustración, más que palabras de limitación. Además, las ventajas y objetivos descritos en el presente documento pueden no realizarse mediante cada realización práctica de la presente invención. Además, aunque la invención se ha descrito aquí con referencia a una estructura, materiales y/o realizaciones particulares, no se pretende que la invención se limite a los detalles descritos en el presente documento. Más bien, la invención se extiende a todas las estructuras, métodos y usos funcionalmente equivalentes, tales como los que están dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Los expertos en la técnica, que tienen el beneficio de las enseñanzas de esta especificación, pueden efectuar numerosas modificaciones de la misma y pueden hacerse cambios sin apartarse del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

55

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para reducir la incomodidad causada por un dispositivo de estimulación magnética, que comprende:
- el dispositivo de estimulación magnética para crear campos magnéticos para inducir estimulación, caracterizado porque:
- 5 al menos un conductor situado periférico al dispositivo de estimulación magnética, en el que el conductor está adaptado para reducir la estimulación próxima a la superficie inducida por el dispositivo de estimulación magnética de tal manera que se mantiene la eficacia de estimulación inducida por los campos magnéticos creados por el dispositivo de estimulación magnética dentro de un área que se desea tratar.
2. El sistema de la reivindicación 1, en el que el conductor está situado sobre una almohadilla de circuito flexible.
- 10 3. El sistema de la reivindicación 2, que comprende además un mecanismo de eliminación para hacer inoperable la almohadilla de circuito flexible.
4. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además un dispositivo de estimulación magnética transcutánea para tratar una primera ubicación.
- 15 5. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además un generador de señal eléctrica para proporcionar una señal eléctrica a una segunda ubicación.
6. El sistema de la reivindicación 5, en el que el conductor está adaptado para comunicarse con el generador de señal eléctrica, y en el que el conductor está adaptado para llevar una señal eléctrica a la segunda ubicación.
7. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además un dispositivo de detección para determinar una salida del dispositivo de estimulación magnética.
- 20 8. El sistema de la reivindicación 7, en el que el dispositivo de detección está adaptado para determinar características de un campo magnético creado por el dispositivo de estimulación magnética.
9. El sistema de la reivindicación 7 u 8, en el que el dispositivo de detección es un bucle que tiene un número de vueltas basado en la salida del dispositivo de estimulación magnética.
- 25 10. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 7-9, en el que el dispositivo de detección está adaptado para proporcionar una señal al conductor a través de un circuito, y en el que la señal es representativa de la salida del dispositivo de estimulación magnética.
11. El sistema de la reivindicación 10, en el que la señal es inversamente proporcional a una forma de onda de estimulación aplicada al dispositivo de estimulación magnética.
- 30 12. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el conductor tiene características físicas y eléctricas para reducir la estimulación proximal de la superficie inducida por el dispositivo de estimulación magnética.
13. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el dispositivo de estimulación magnética está adaptado para reducir una densidad de flujo magnético para reducir la estimulación próxima a la superficie.
- 35 14. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el dispositivo de estimulación magnética está adaptado para superponer un campo magnético creado por el dispositivo de estimulación magnética con un campo magnético creado por el conductor para reducir la estimulación próxima a la superficie.
15. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el dispositivo de estimulación magnética comprende al menos un núcleo en forma de arco.
- 40 16. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, adaptado de tal manera que la energía eléctrica proporcionada al conductor y la energía eléctrica proporcionada al dispositivo de estimulación magnética sean de polaridad opuesta.
17. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, adaptado para proporcionar energía eléctrica al conductor como una corriente que se deriva de un voltaje proporcionado al dispositivo de estimulación magnética.

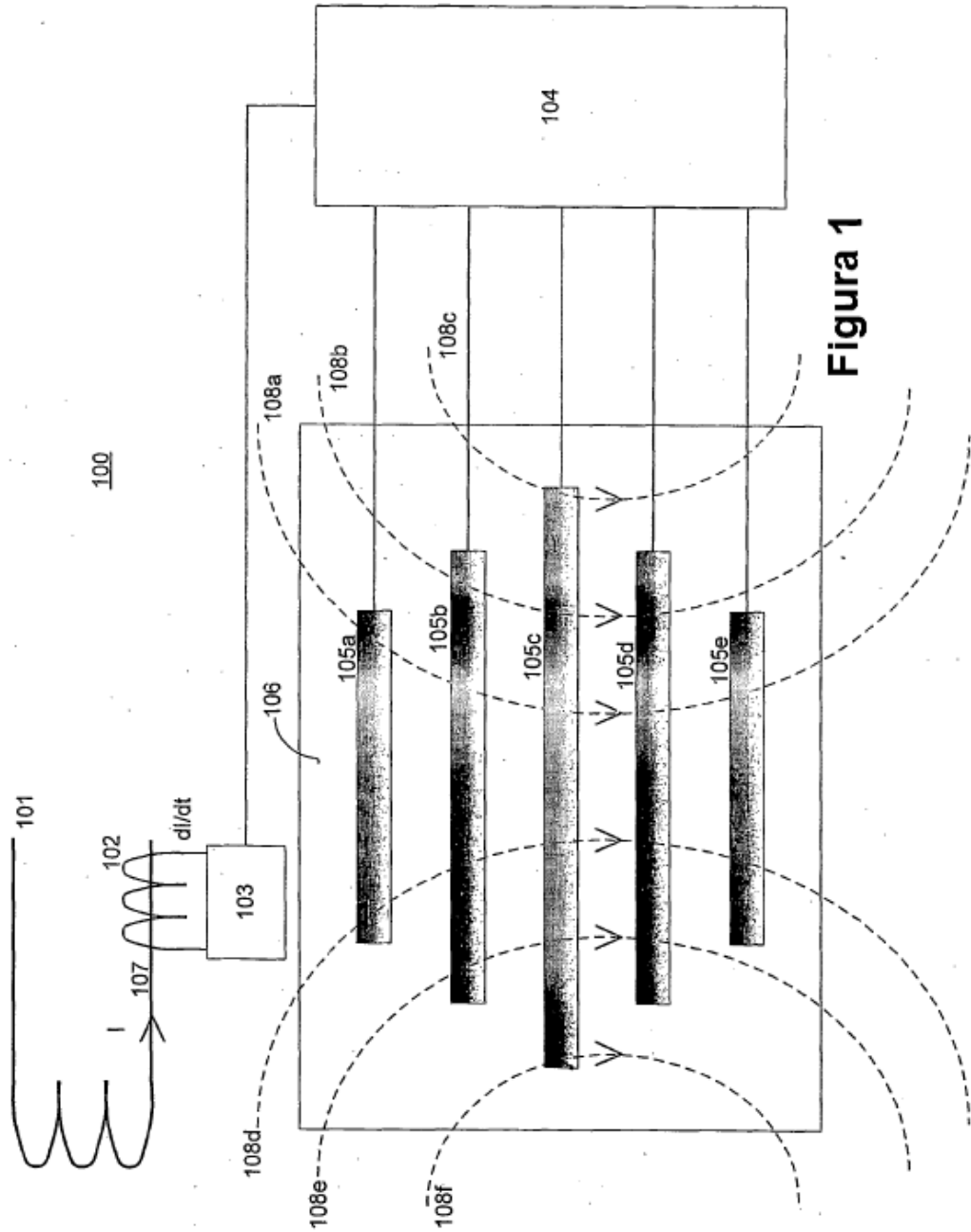


Figura 1

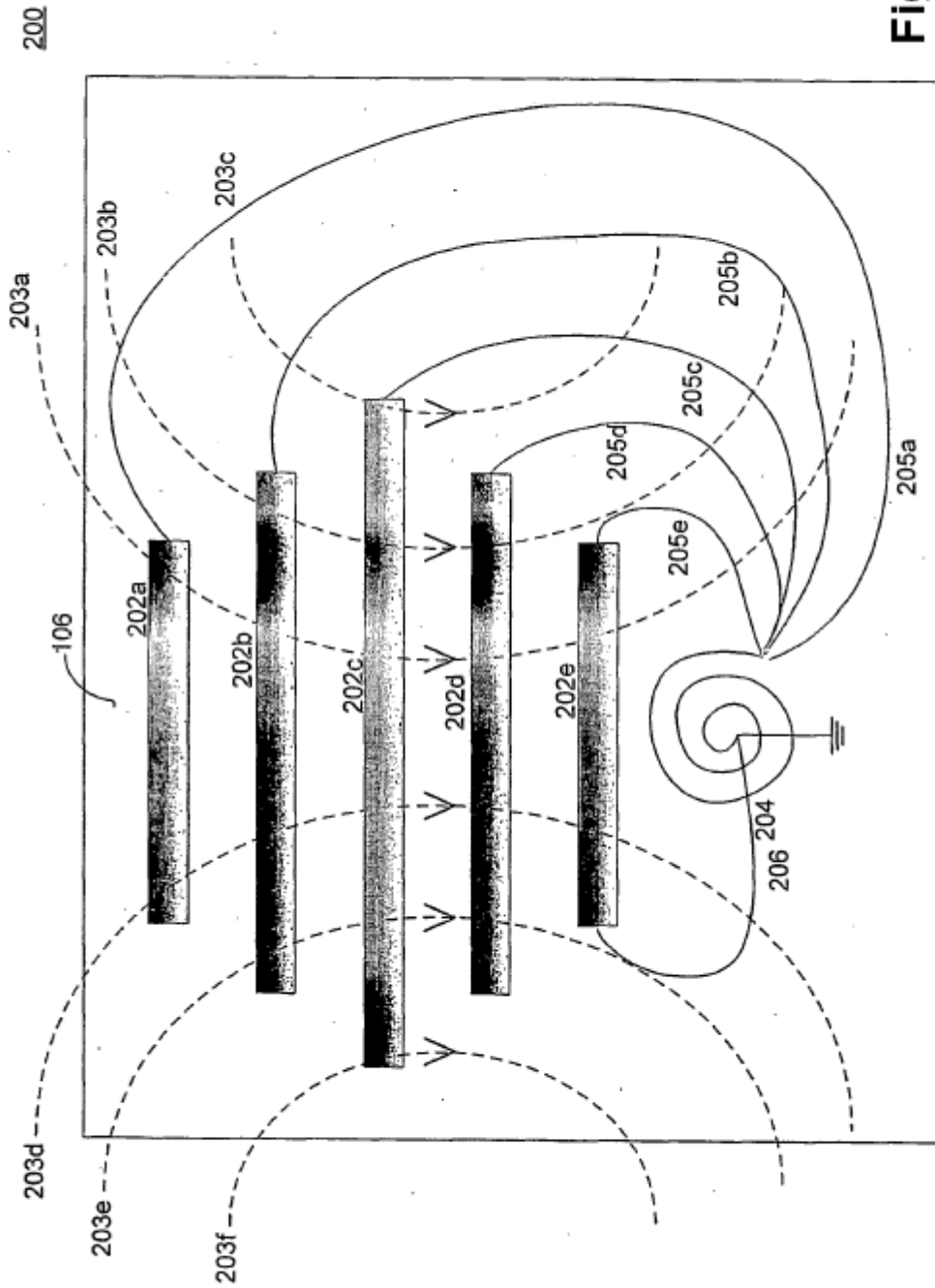


Figura 2

200

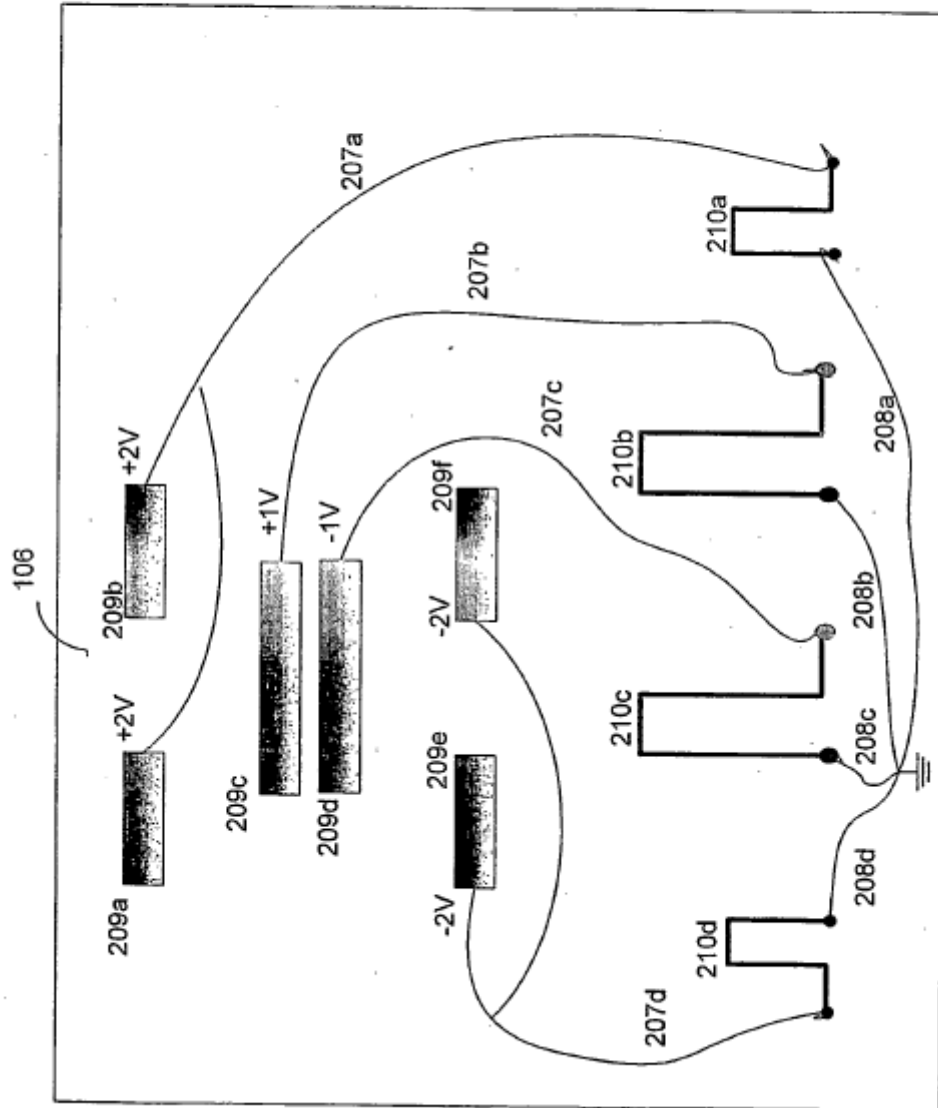


Figura 2A

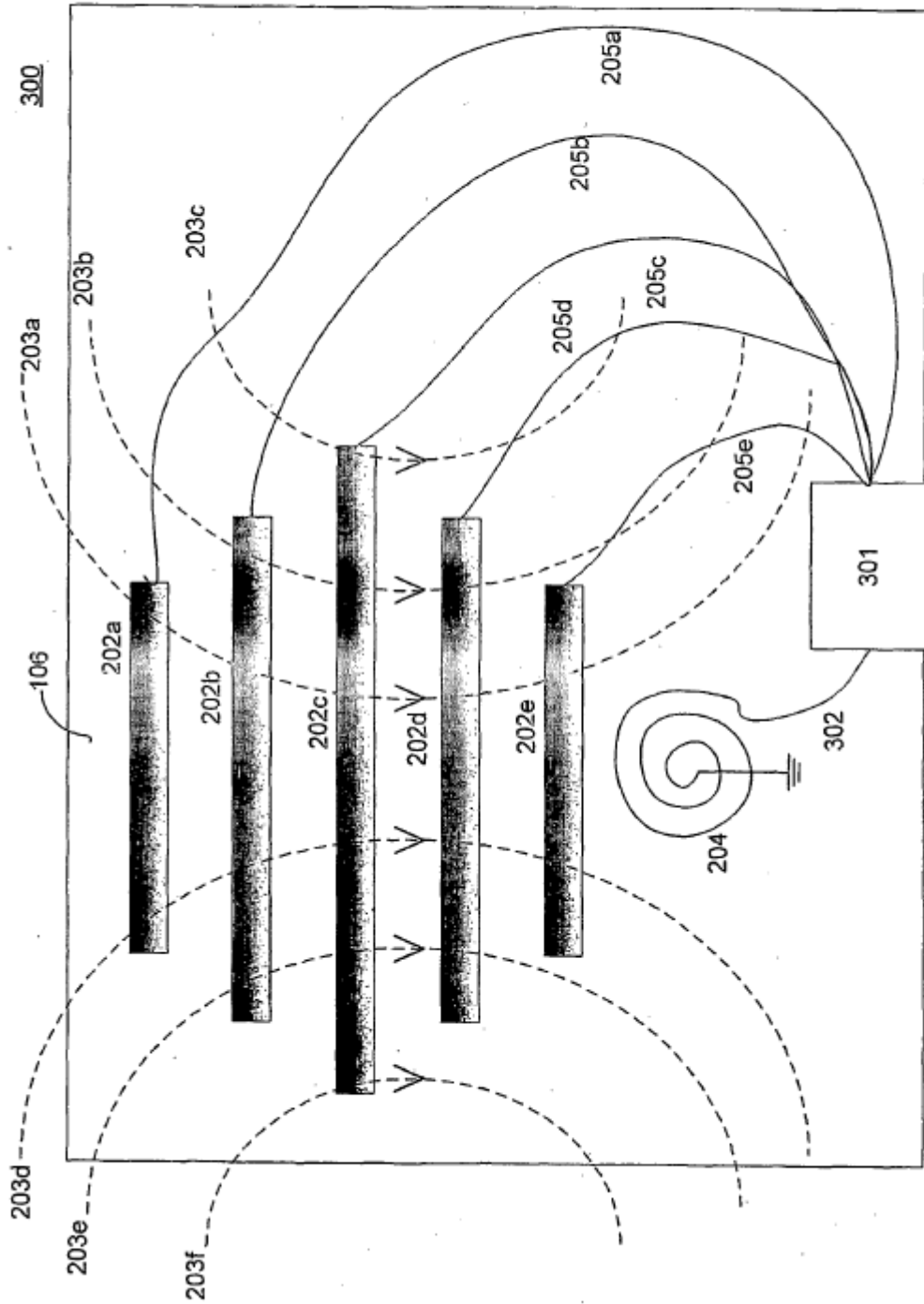


Figura 3

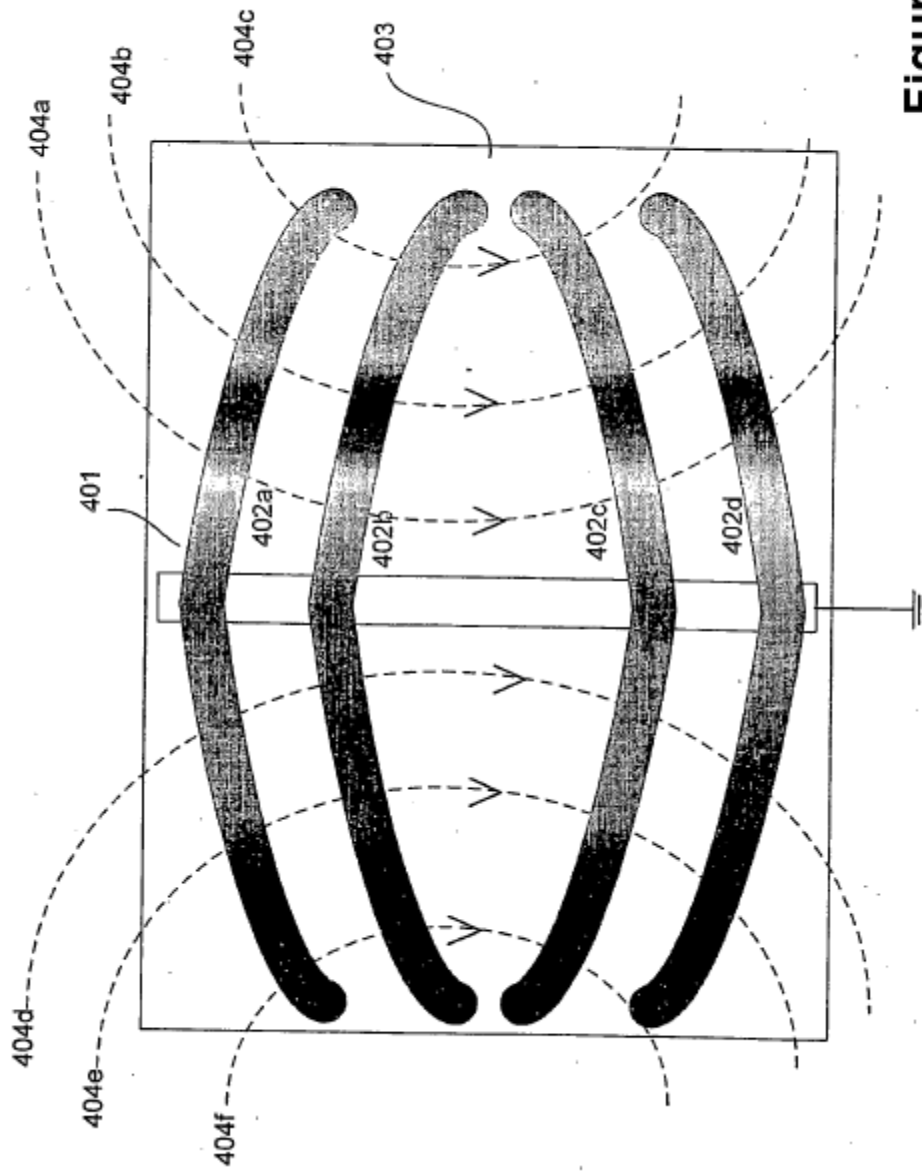


Figura 4

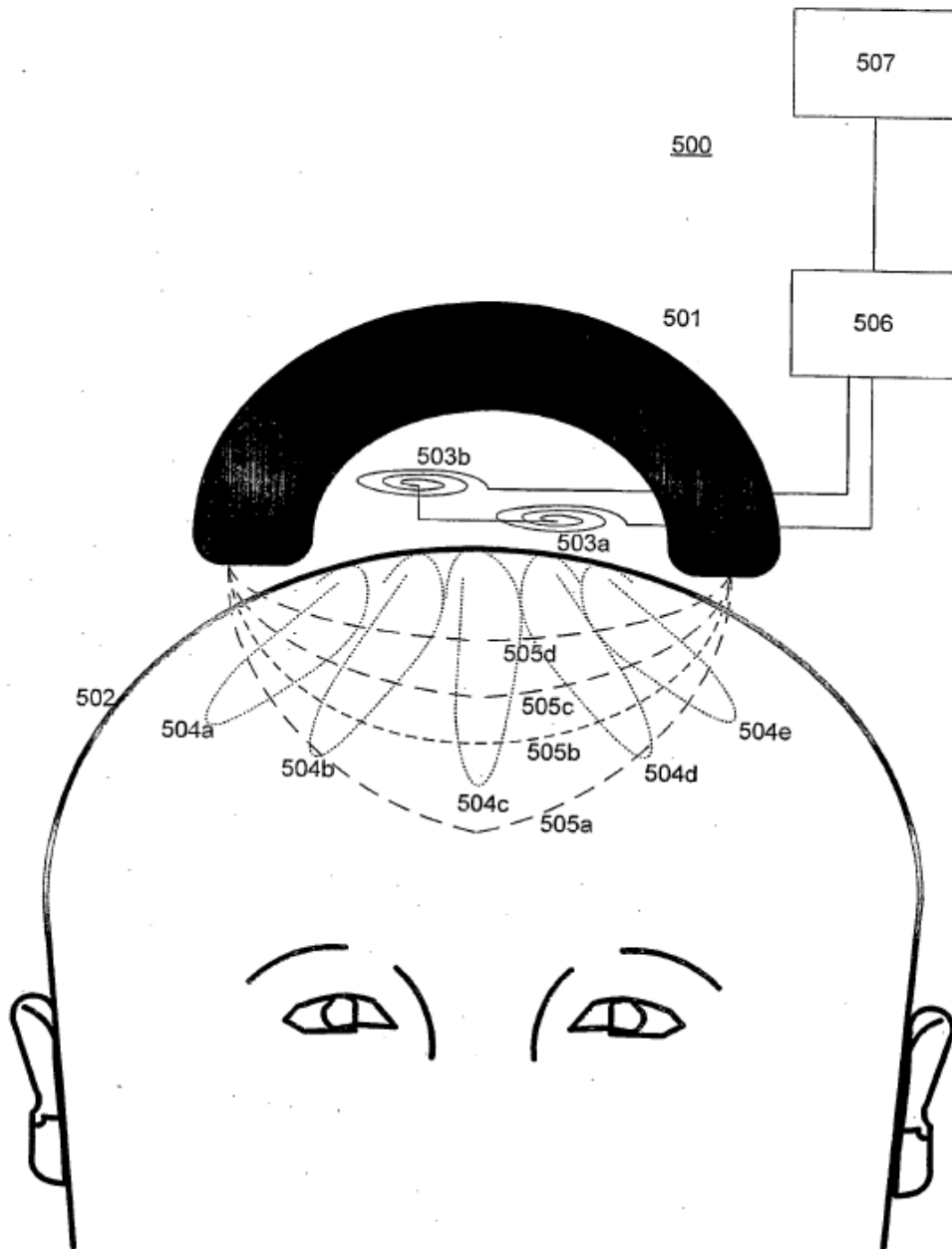


Figura 5

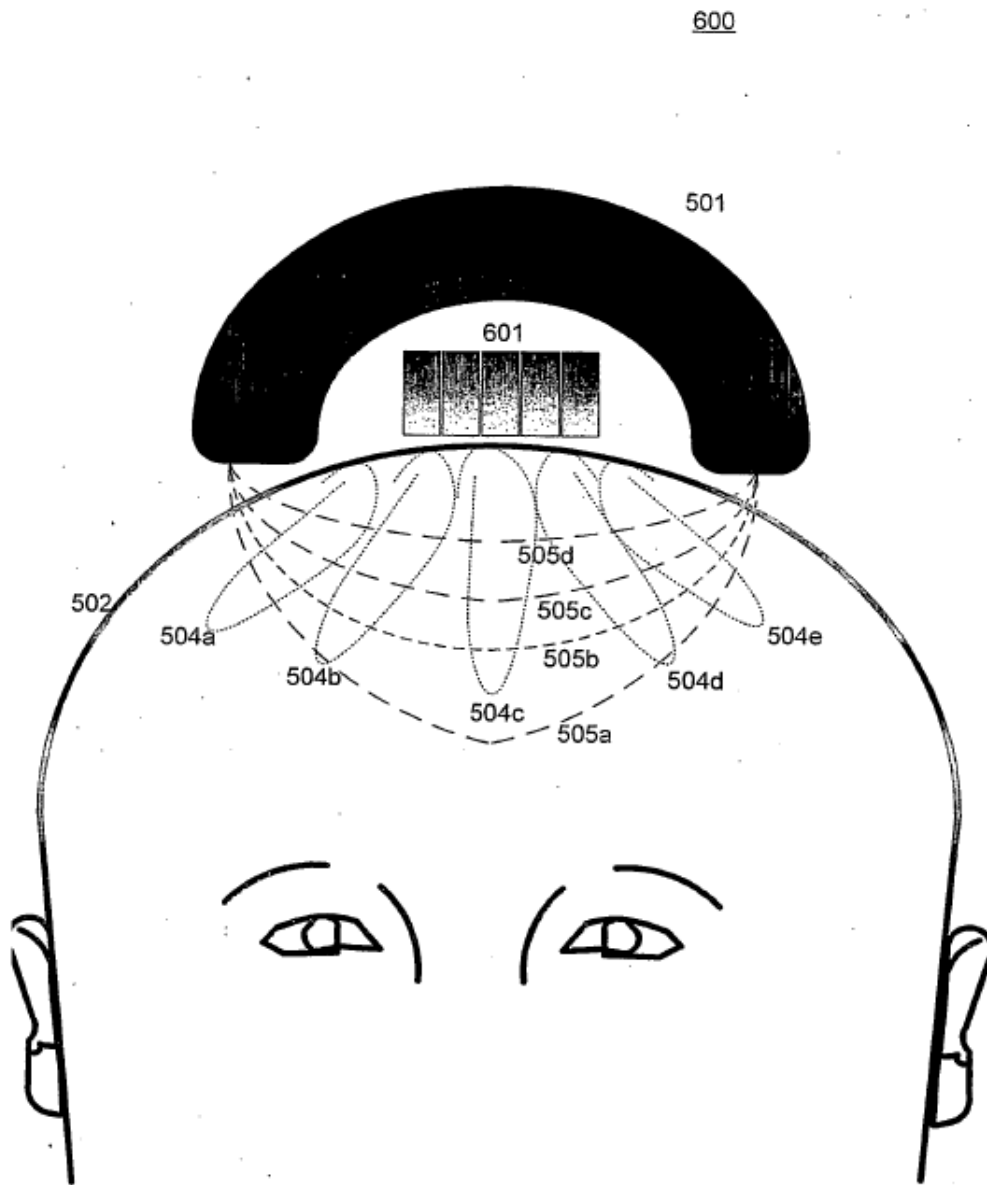


Figura 6

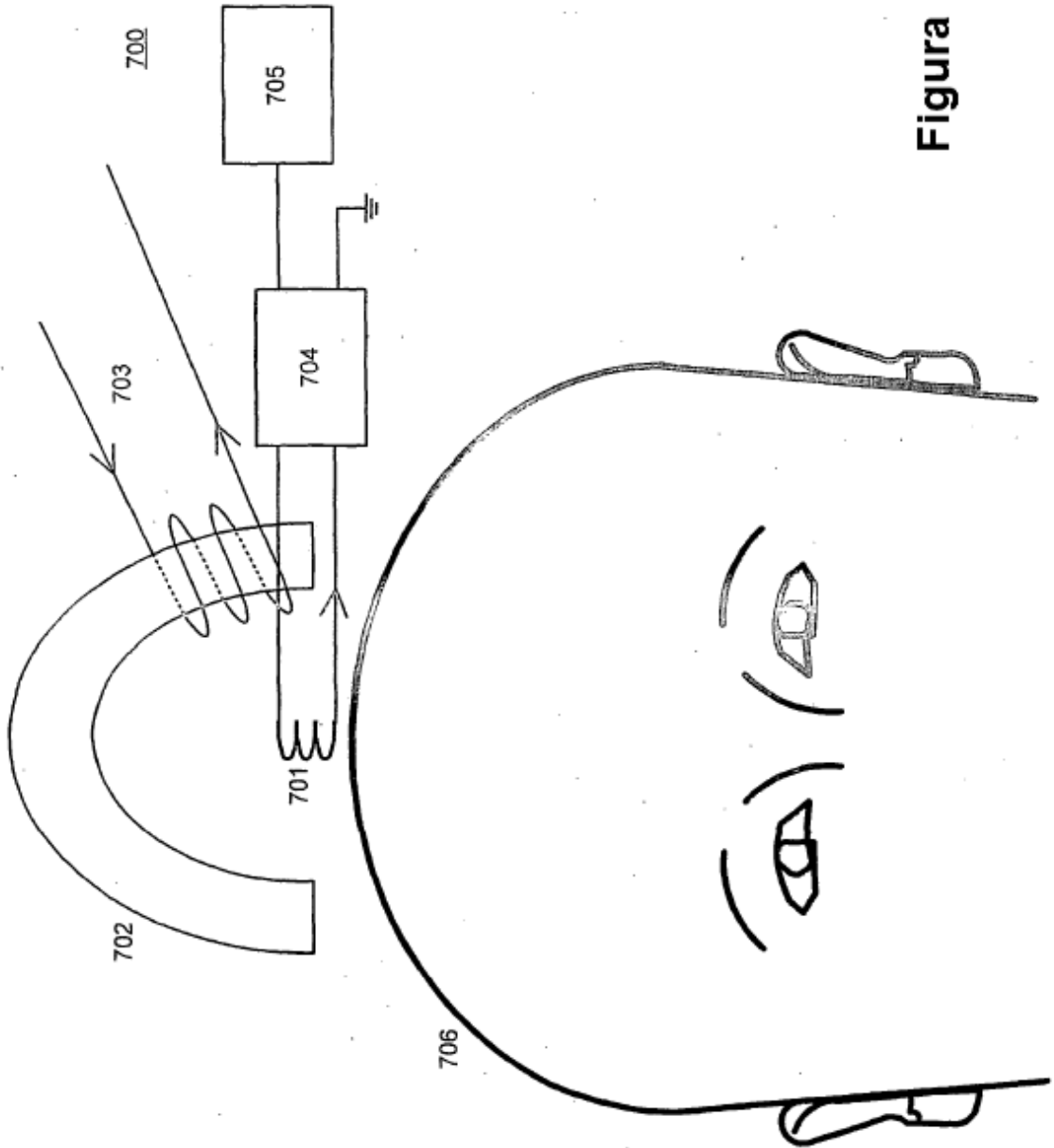


Figura 7

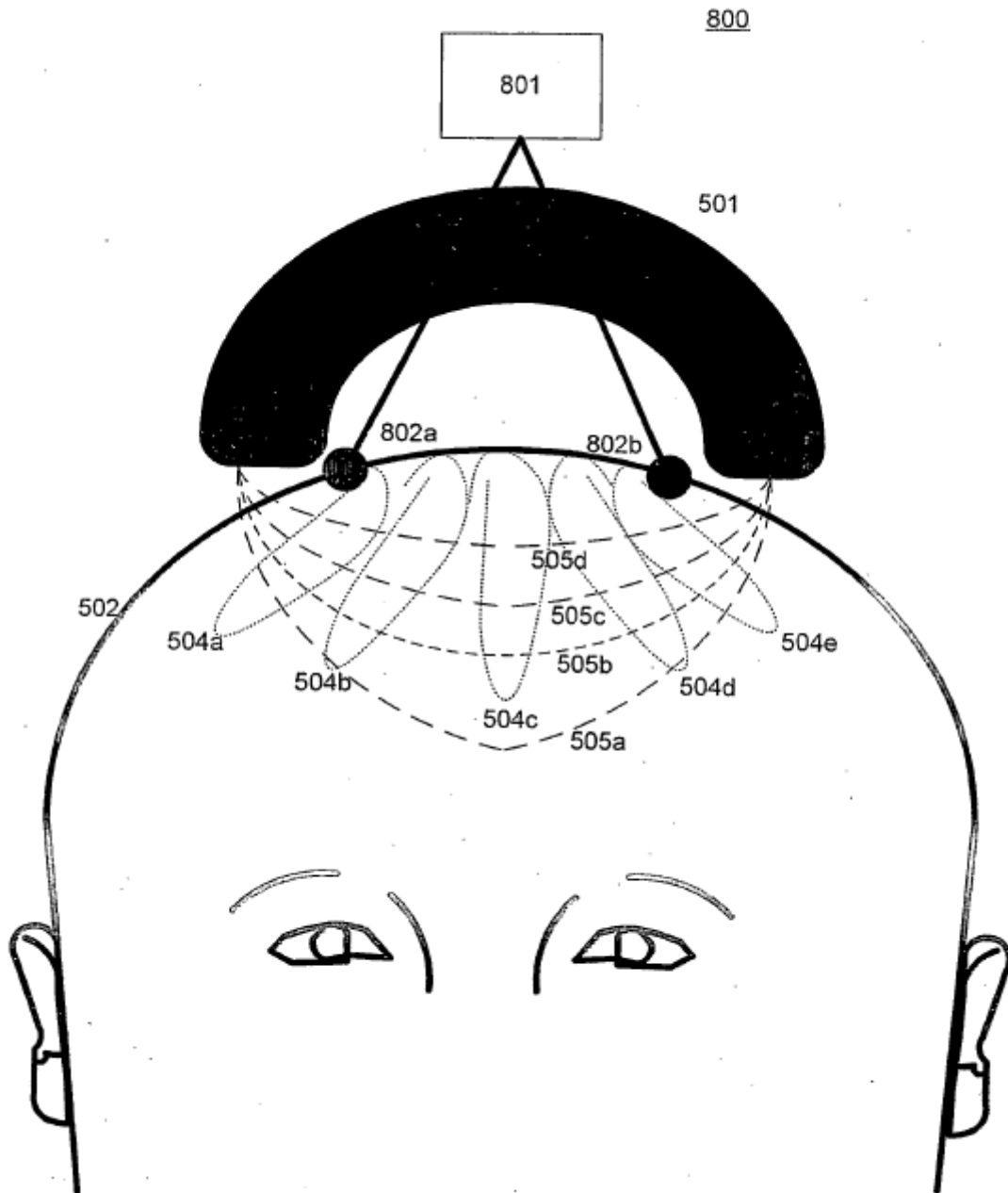


Figura 8

900

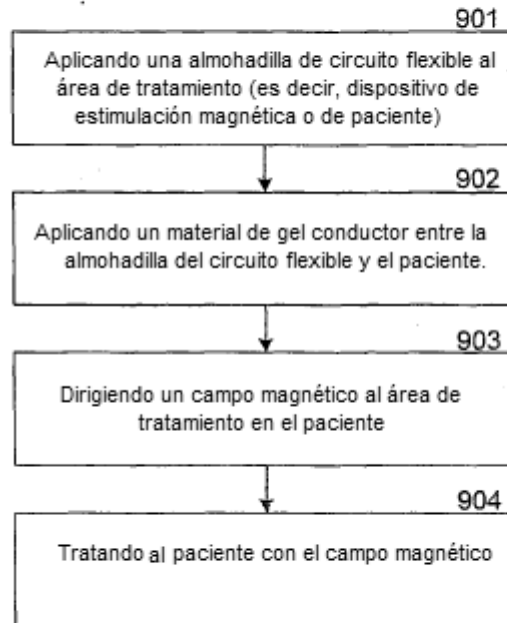


Figura 9

1000

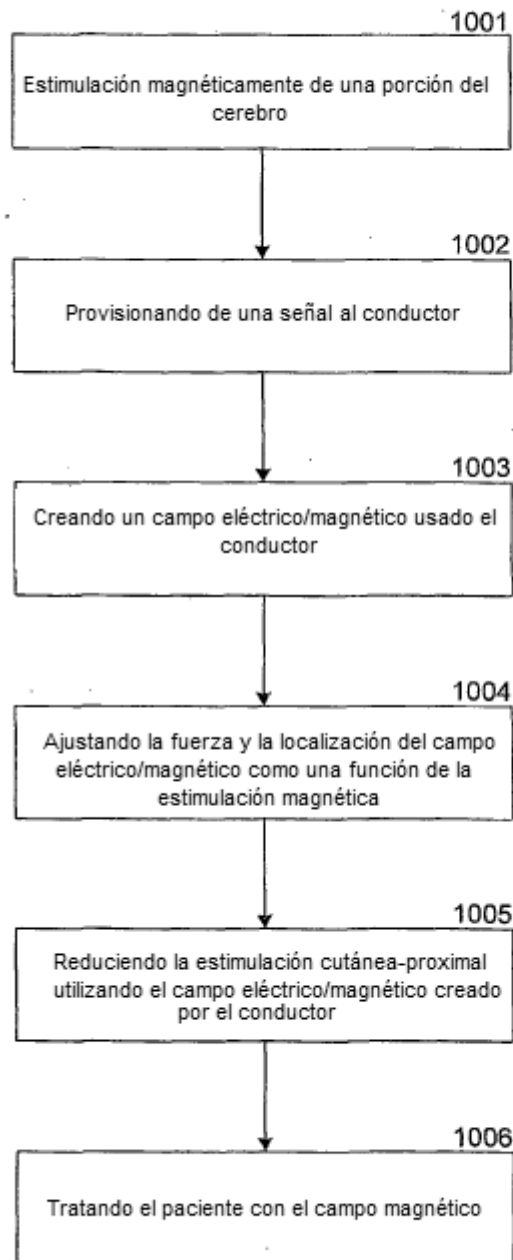


Figura 10

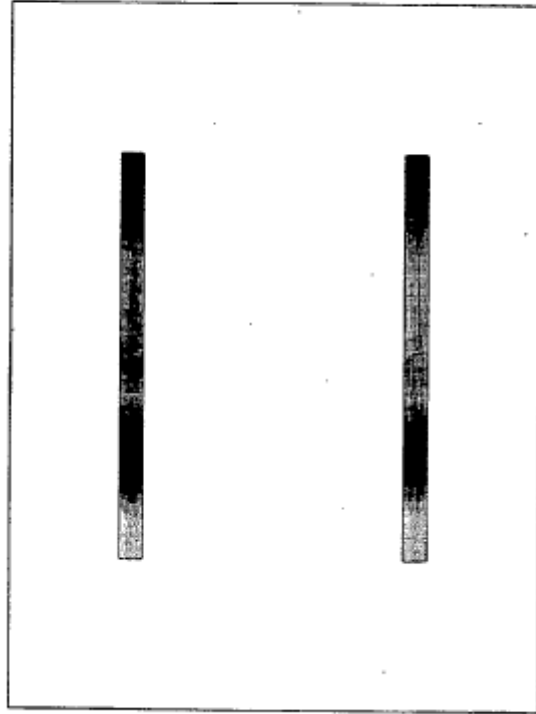


Figura 11

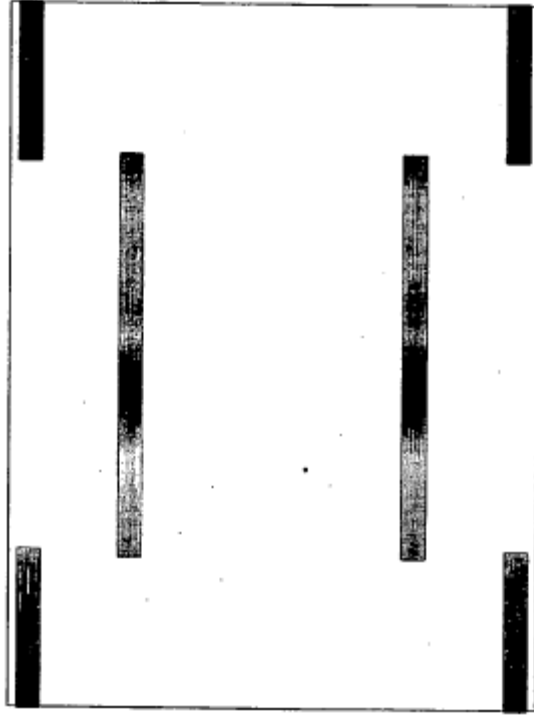


Figura 12

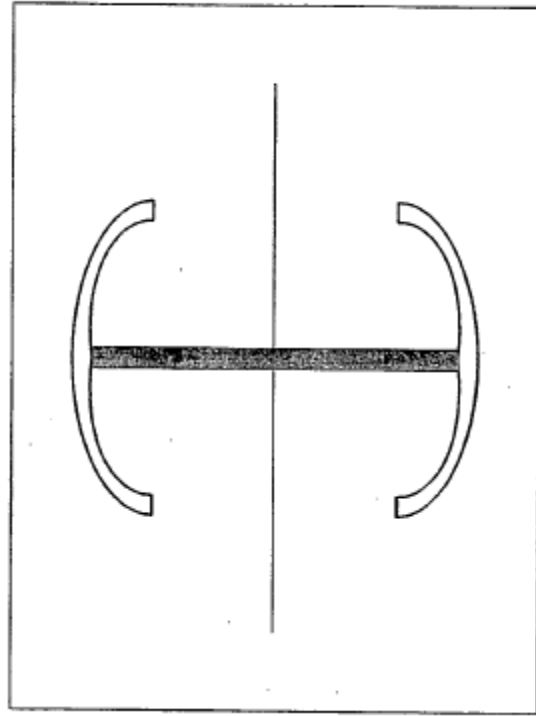


Figura 13

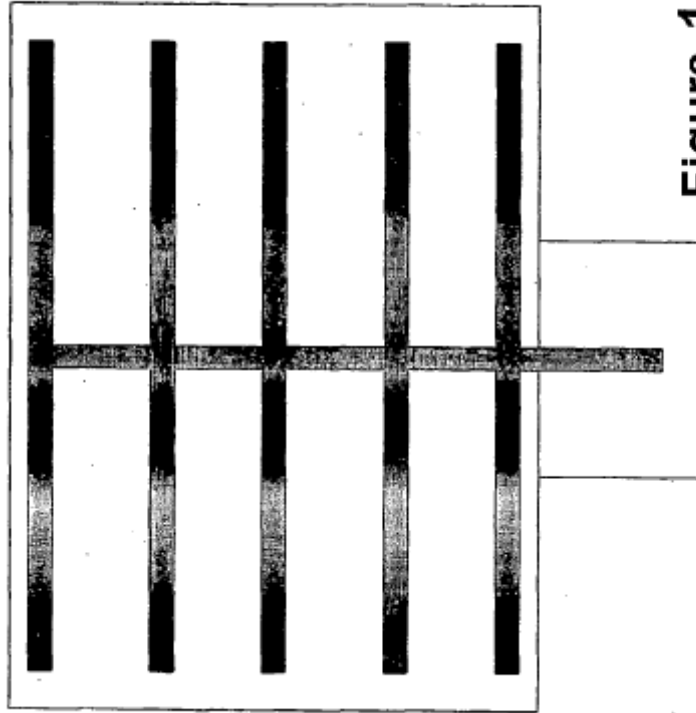


Figura 14

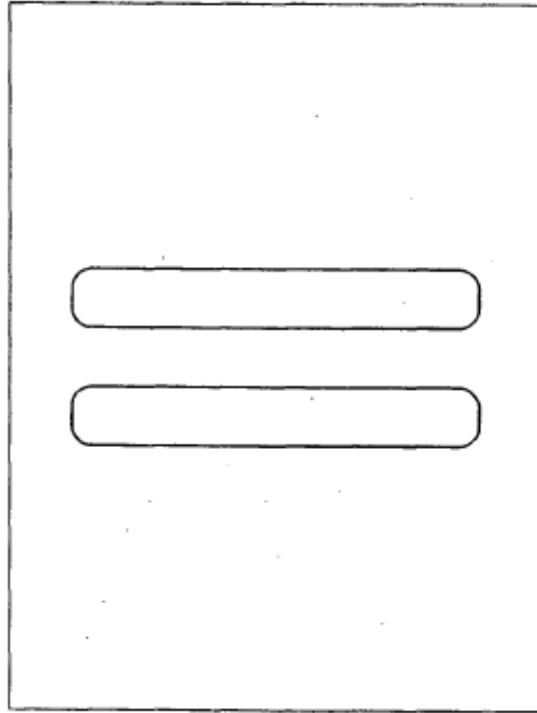


Figura 15

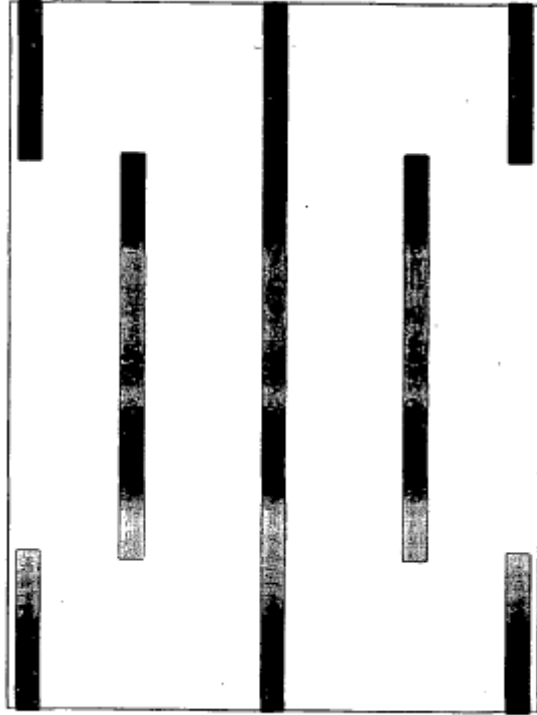


Figura 16

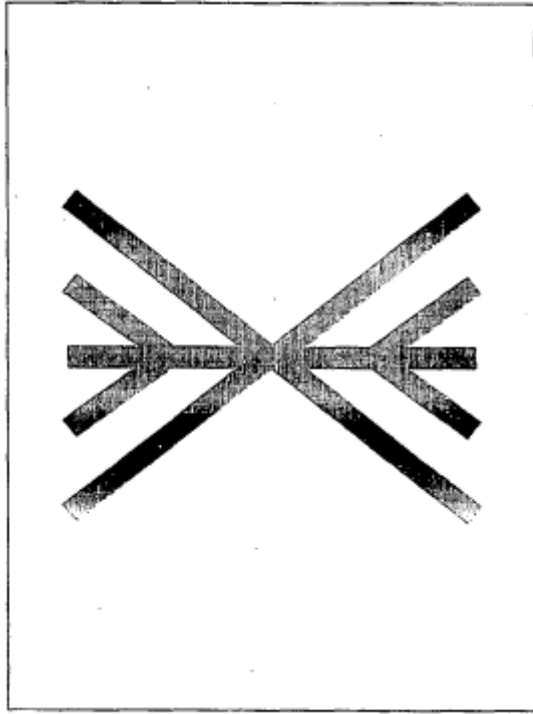


Figura 17

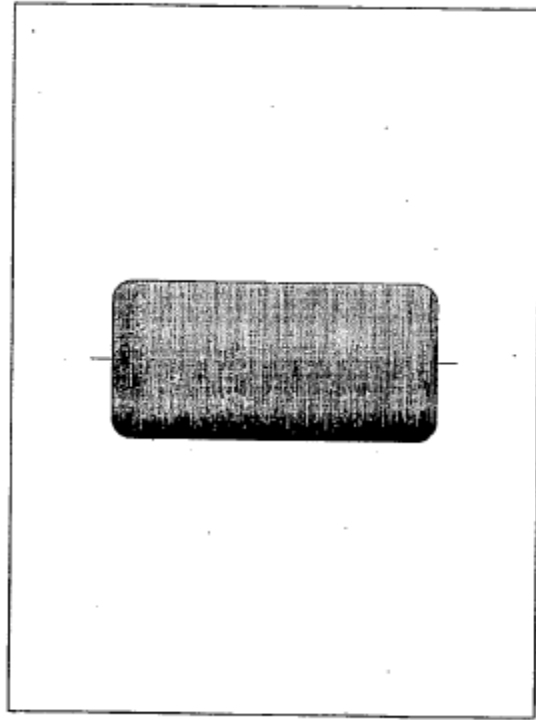


Figura 18

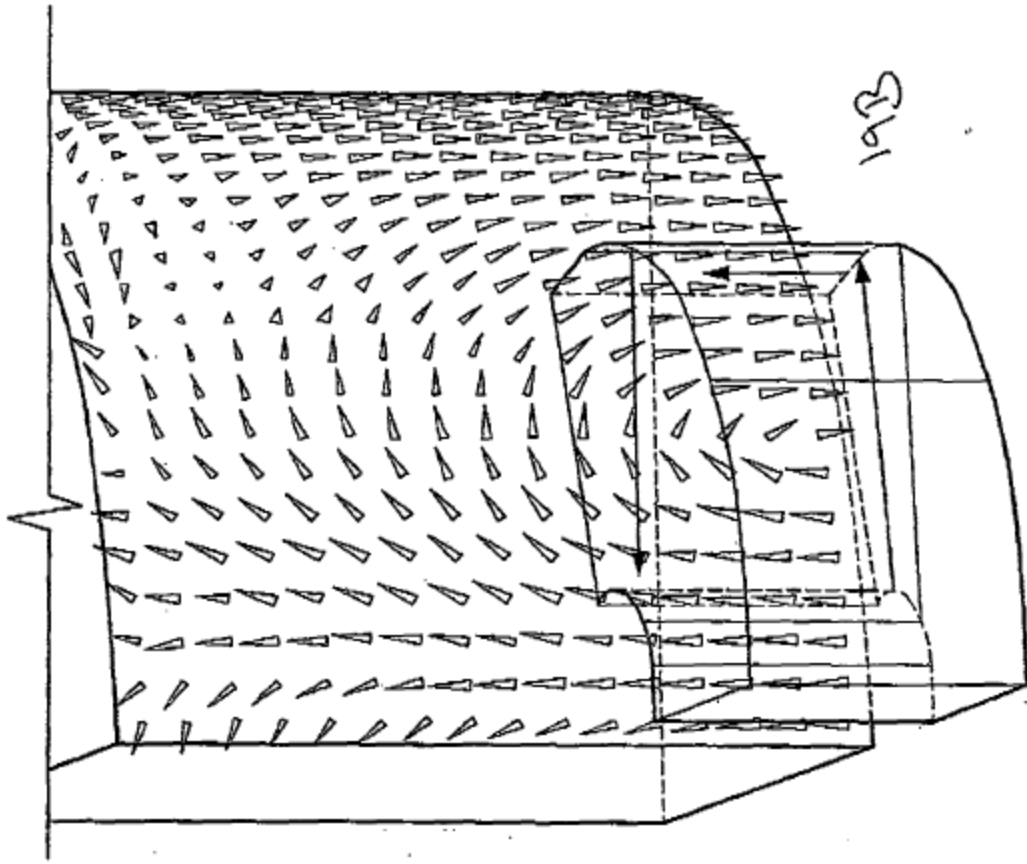


FIG. 19

19A



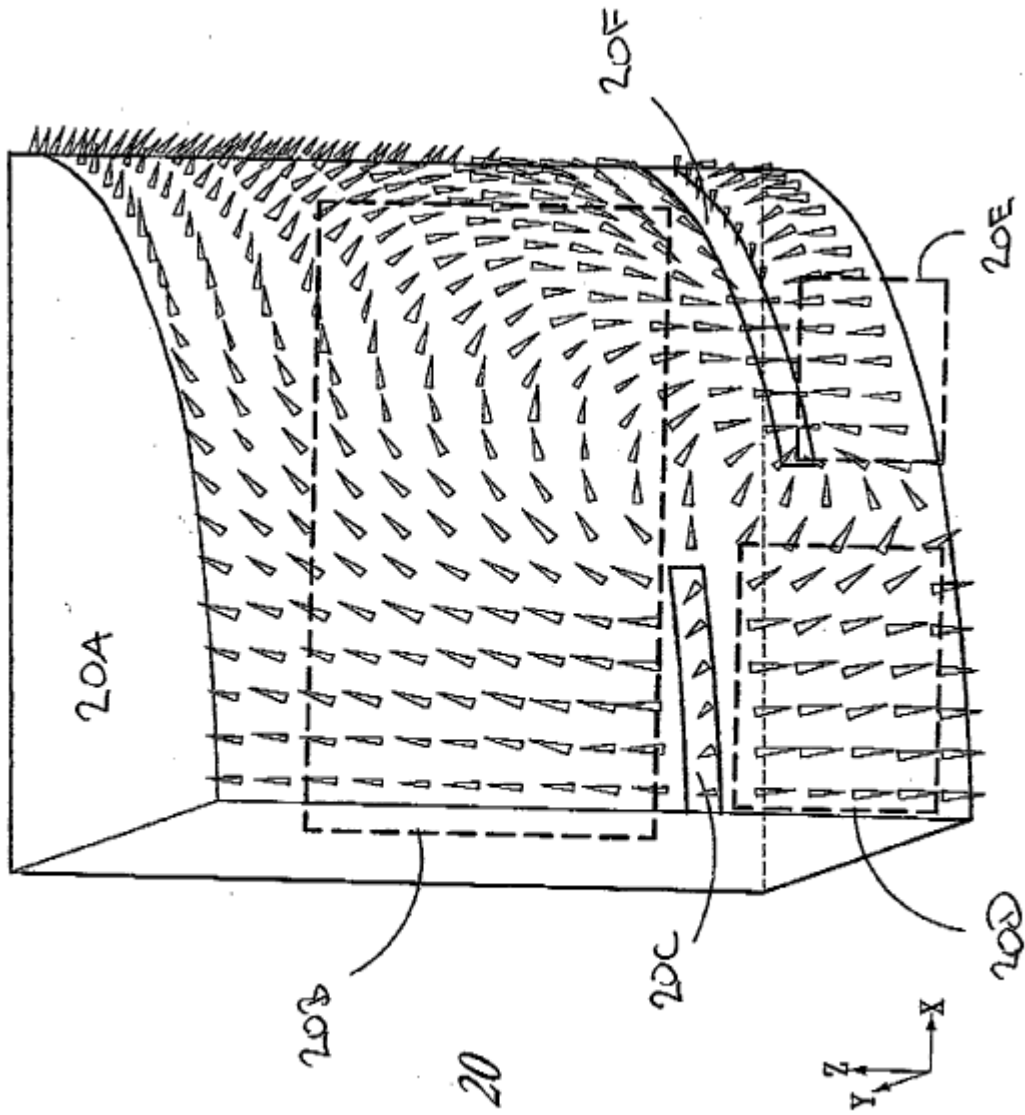
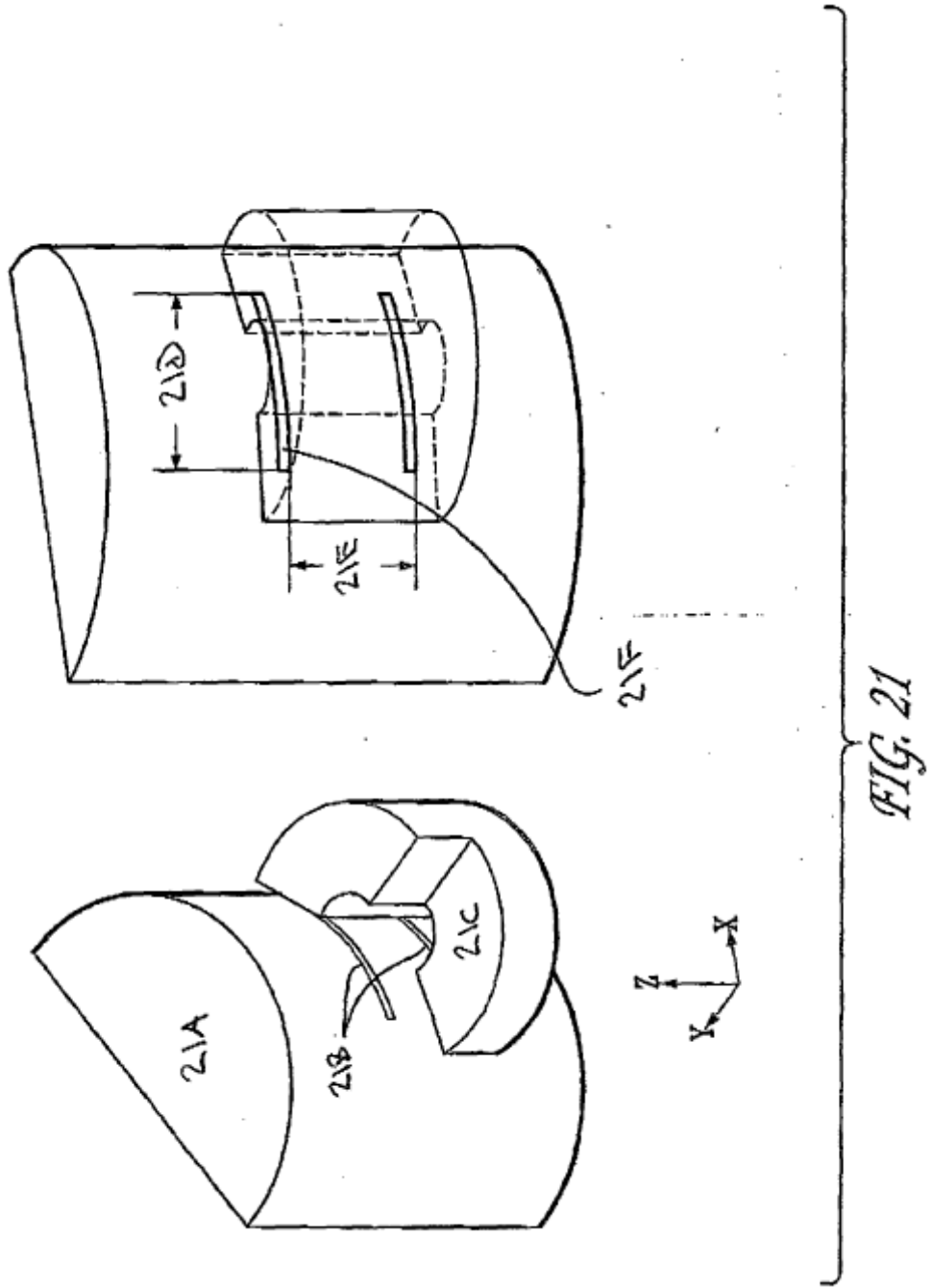


FIG. 20



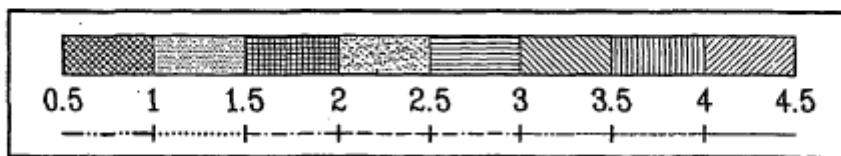
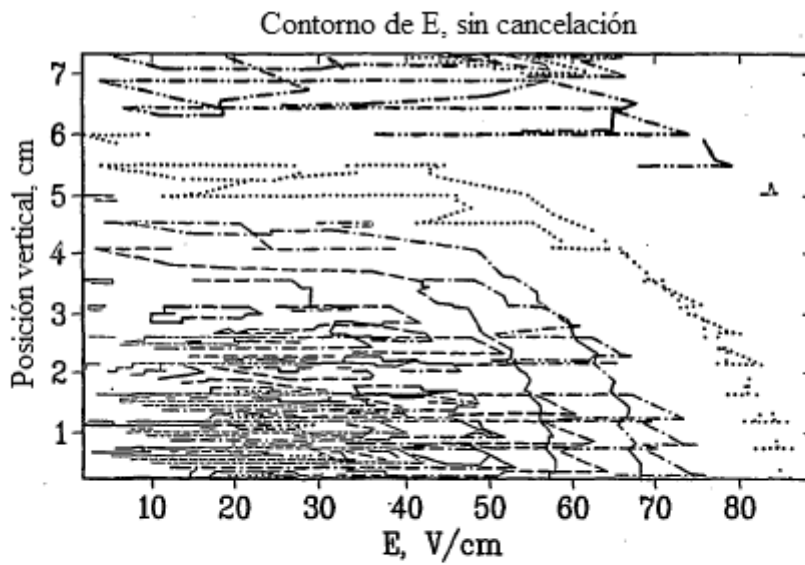
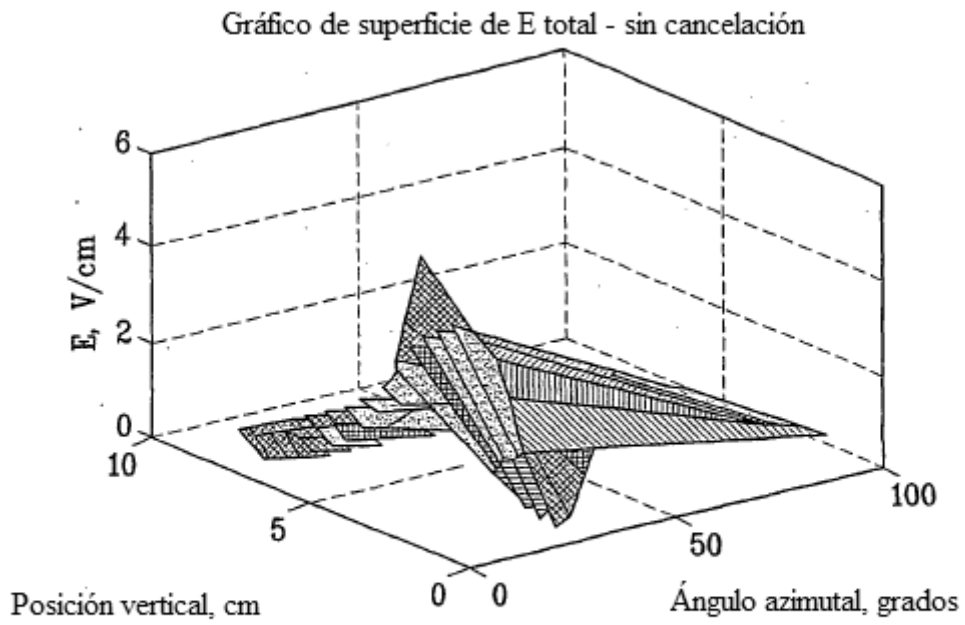
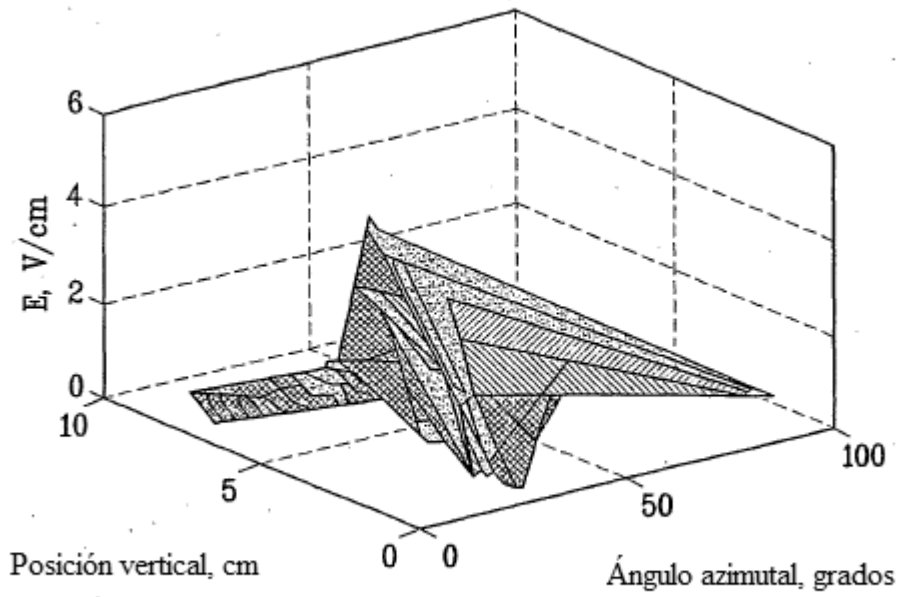


FIG. 22A

Gráfico de superficie de E total - con cancelación



Contorno de E, con cancelación

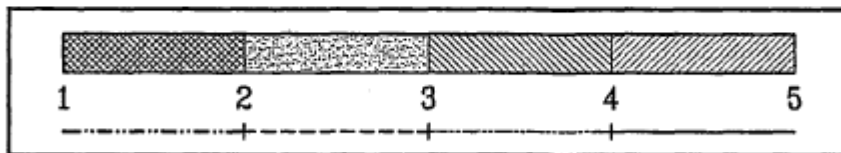
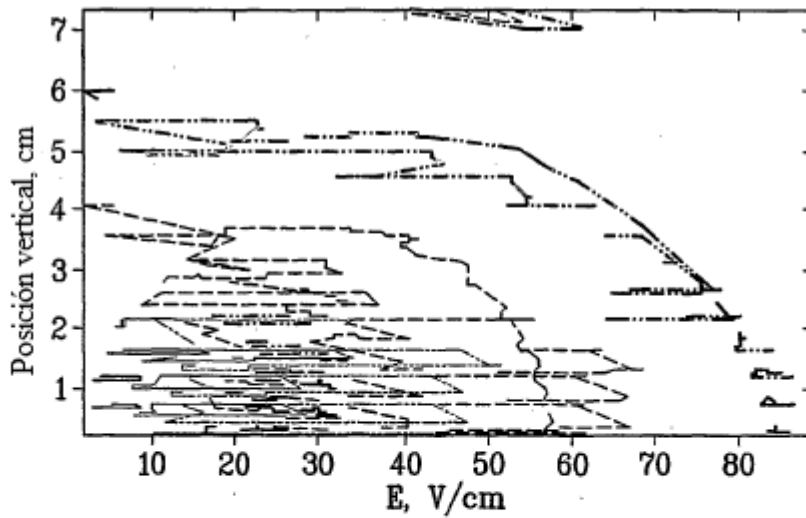


FIG. 22B

