

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 796 659**

51 Int. Cl.:

A61N 2/02 (2006.01)

A61N 2/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.07.2006** **E 17205912 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.04.2020** **EP 3332837**

54 Título: **Núcleo magnético para procedimientos médicos**

30 Prioridad:

27.07.2005 US 191106

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

27.11.2020

73 Titular/es:

**Neuronetics, Inc. (100.0%)
3222 Phoenixville Pike
Malvern, PA 19355, US**

72 Inventor/es:

**RIEHL, MARK EDWARD;
GHIRON, KENNETH;
CARBONNEAU, LEO, P. y
BACHAND, GERARD, E.**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 796 659 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

Núcleo magnético para procedimientos médicos

5 Antecedentes

Una serie de dolencias médicas son tratadas o tratables y/o diagnosticadas mediante la aplicación de un campo magnético a una parte afectada del cuerpo de un paciente. Las neuronas y las células musculares son una forma de circuitos biológicos que transportan señales eléctricas y responden a estímulos electromagnéticos. Cuando un bucle ordinario de alambre conductor pasa a través de un campo magnético o está en presencia de un campo magnético cambiante, se induce una corriente eléctrica en el alambre.

10

El mismo principio es válido para el tejido biológico conductor. Cuando se aplica un campo magnético cambiante a una parte del cuerpo, las neuronas pueden despolarizarse y estimularse. Los músculos asociados con las neuronas estimuladas pueden contraerse como si las neuronas se dispararan por causas normales.

15

Una célula nerviosa o neurona se puede estimular de varias maneras, por ejemplo, por vía transcutánea mediante estimulación magnética transcraneal (TMS). El TMS utiliza un campo magnético que cambia rápidamente para inducir una corriente en una célula nerviosa, sin tener que cortar ni penetrar la piel. Se dice que el nervio se "dispara" cuando un potencial de membrana dentro del nervio aumenta con respecto a su nivel ambiente negativo normal de aproximadamente -90 milivoltios, dependiendo del tipo de nervio y el pH local del tejido circundante.

20

El uso de la estimulación magnética es muy efectivo en la rehabilitación de grupos musculares lesionados o paralizados. Además de la estimulación de grandes grupos musculares como el muslo o el abdomen, también se ha experimentado la estimulación cardíaca. En este contexto, la estimulación magnética del corazón puede ser superior a la CPR o la estimulación eléctrica, porque ambos métodos aplican de manera indeseable la estimulación macroscópica a todo el corazón a la vez.

25

Otra área en la que la estimulación magnética está demostrando ser efectiva es el tratamiento de la columna vertebral. Es difícil acceder a la médula espinal directamente porque las vértebras la rodean. La estimulación magnética se puede utilizar para bloquear la transmisión del dolor a través de los nervios de la espalda, *por ejemplo*, los responsables del dolor lumbar.

30

La estimulación magnética también ha demostrado su eficacia en la estimulación de las regiones del cerebro, que se compone principalmente de tejido neurológico. Un área de particular interés es el tratamiento de la depresión. Se cree que más de 28 millones de personas en los Estados Unidos sufren algún tipo de trastorno neuropsiquiátrico. Estos incluyen afecciones como depresión, esquizofrenia, manía, trastorno obsesivo-compulsivo, trastornos de pánico y otros. La depresión es el "resfriado común" de los trastornos psiquiátricos, y se cree que afecta a 19 millones de personas en los Estados Unidos y posiblemente a 340 millones de personas en todo el mundo.

35

La medicina moderna ofrece a los pacientes con depresión una serie de opciones de tratamiento, que incluyen varias clases de medicamentos antidepresivos (*por ejemplo*, SSRI, MAOI y tricíclicos), litio y terapia electroconvulsiva (ECT). Sin embargo, muchos pacientes permanecen sin un alivio satisfactorio de los síntomas de la depresión. Hasta la fecha, la ECT sigue siendo una terapia eficaz para la depresión resistente; sin embargo, muchos pacientes no se someterán al procedimiento debido a sus efectos secundarios graves.

45

Recientemente, se ha demostrado que la estimulación magnética transcraneal repetitiva (rTMS) tiene efectos antidepresivos significativos para pacientes que no responden a los métodos tradicionales. El principio detrás de la rTMS es aplicar una estimulación subconvulsiva a la corteza prefrontal de manera repetitiva, causando una despolarización de las membranas de las neuronas corticales. Las membranas se despolarizan por la inducción de pequeños campos eléctricos en exceso de 1 V/cm que son el resultado de un campo magnético que cambia rápidamente y se aplica de forma no invasiva.

50

La creación del campo magnético ha sido variada. Ciertas técnicas describen el uso de una bobina para crear el campo magnético necesario. Otras técnicas contemplan el uso de un material de núcleo magnético de alto nivel de saturación, como el permendur de vanadio. Se ha demostrado que el uso del material del núcleo magnético, en comparación con la bobina o la denominada solución de núcleo de "aire", aumenta la eficiencia del proceso TMS. Por ejemplo, como se discutió con referencia a la Patente de los Estados Unidos No. 5,725,471, el uso de un núcleo magnético en lugar de solo una bobina aumenta la eficiencia del proceso TMS al crear un campo magnético más grande y más enfocado con los mismos o menores requisitos de potencia de entrada.

55

Este avance ha permitido una solución más rentable que utiliza potencia de 120 voltios existente sin fuentes de alimentación complicadas y costosas. Además, debido a la necesidad de entradas de potencia iguales o menores, el núcleo magnético reduce significativamente el calentamiento no deseado asociado con la solución de la bobina y crea un riesgo de seguridad para los pacientes. Por ejemplo, los dispositivos de núcleo magnético en comparación con los dispositivos de solo bobina reducen la trayectoria de reluctancia magnética en un factor de dos. Esta reducción de la

65

reluctancia se traduce en una reducción de la corriente requerida para generar el mismo campo magnético por el mismo factor y, por lo tanto, proporciona una reducción cuádruple en la potencia requerida.

5 Las alternativas de núcleo ferromagnético típicamente se fabrican laminando capas de acero al silicio o metal ferromagnético similar para formar la estructura del núcleo. Las capas pueden construirse apilando formas recortadas o enrollando una cinta de material sobre un mandril seguido de un mecanizado y procesamiento adicionales para lograr la geometría de núcleo deseada.

10 Si bien las soluciones fabricadas con estos núcleos ferromagnéticos ofrecieron una notable mejora con respecto a sus contrapartes de solo bobina, los núcleos ferromagnéticos también adolecen de ciertas complejidades en su construcción y limitaciones en su geometría. Específicamente, el método de construcción de la capa apilada no proporciona una alineación óptima de la estructura de cristal metálico con las líneas de flujo magnético y también requiere un proceso de laminación controlado para garantizar pérdidas mínimas de corriente parásita. El método de construcción de la cinta enrollada típicamente da como resultado un núcleo con estructura en forma de arco o en forma de C que tiene un cierto radio y alcance. Las dimensiones y la geometría de estos núcleos ferromagnéticos se seleccionan para garantizar la profundidad de penetración deseada, la forma del campo magnético y la magnitud apropiada del campo magnético en ciertos lugares dentro de la anatomía del paciente.

20 El método de construcción del núcleo ferromagnético implica un proceso de construcción complejo y meticuloso que aumentó tanto la complejidad como el coste del núcleo. Por ejemplo, debido a que el material ferromagnético es eléctricamente conductor, se establecen corrientes parásitas en el material cuando se expone a un campo magnético que varía rápidamente. Estas corrientes parásitas no solo calientan el material del núcleo mediante calentamiento resistivo, sino que también producen un campo magnético opuesto que disminuye el campo magnético primario. Para evitar estas pérdidas, las vías de corriente parásita se rompen al fabricar el núcleo a partir de capas muy delgadas o láminas de material ferromagnético que están aisladas eléctricamente entre sí.

30 Las láminas típicamente están barnizadas individualmente o revestidas de otro modo para proporcionar aislamiento entre las láminas, evitando así que la corriente circule entre láminas y resultando en pérdidas reducidas de corriente parásita. Además, las láminas están orientadas paralelas al campo magnético para asegurar una baja resistencia.

35 El proceso de fabricación del núcleo enrollado comienza enrollando una cinta larga y delgada de material ferromagnético saturable, como permendur de vanadio o acero al silicio, en un mandril para crear el radio, el grosor y la profundidad deseados del núcleo. Cada lado de la cinta generalmente está recubierto con un recubrimiento aislante delgado para aislarlo eléctricamente. Una vez que la cinta se ha enrollado en el mandril a las dimensiones deseadas, se retira del mandril y se sumerge en epoxi para fijar su posición. Una vez que el epoxi se ha curado, se corta un sector del núcleo toroidal con una sierra de cinta y se retira, conformando así la forma de arco deseada. Debido a que el proceso de corte puede reducir el aislamiento eléctrico de las laminaciones adyacentes, cada corte se rectifica finamente para que sea suave, y luego se realiza un grabado ácido profundo. El grabado profundo se realiza sumergiendo cada uno de los extremos cortados en un baño ácido. Esto elimina cualquier material ferromagnético que pueda estar acortando las laminaciones. Después del grabado profundo, las caras se recubren para evitar la oxidación y para mantener la forma y la integridad estructural del núcleo. El proceso de fabricación de cortar, revestir, alinear, unir y laminar las capas lo convierte en un proceso de fabricación complejo y costoso. Además, estas consideraciones hacen que sea difícil cambiar o personalizar la forma de la estructura central.

45 Enrollar una bobina de alambre aislado alrededor del núcleo ferromagnético para suministrar la corriente necesaria para crear el campo magnético también es un proceso complejo y detallado. Una inductancia típica para un núcleo de este tipo es de aproximadamente 15-20 microHenrios. Cada pasada del enrollado alrededor del núcleo debe hacerse a intervalos precisos en la estructura del núcleo. En la configuración más simple, cada núcleo tiene un solo enrollado, aunque típicamente el núcleo puede enrollarse varias veces.

50 Si bien la forma y composición del núcleo ferromagnético actual funcionan bien, y ciertamente mejor que la metodología de solo bobina, se debe apreciar que otras composiciones de núcleo y formas de núcleo pueden funcionar igualmente bien en otras circunstancias.

55 El documento US 2004/077923 A1 describe un núcleo magnético hecho de material flexible. El núcleo comprende un material ferromagnético compuesto hecho de un relleno de polvo ferromagnético en una base de plástico. La base de plástico permite que el núcleo sea deformado por un operador.

60 El documento EP 1145738 A2 describe un estimulador magnético que tiene una bobina de alambre Litz para producir un campo magnético para el paciente. La bobina de alambre Litz incluye un alambre desnudo con una porción de conductor cubierta con una capa aislante, dos alambres Litz, cada uno de los cuales está formado por siete alambres desnudos trenzados y cubiertos con una capa aislante.

65 El documento US 2004/122281 A1 divulga un despolarizador magnético que proporciona un pulso de campo magnético de alta intensidad o un tren de pulsos para la estimulación del cerebro o para la estimulación del nervio trigémino. El despolarizador magnético incluye un núcleo ferromagnético formado por láminas delgadas.

Resumen

5 La técnica de la invención incluye un sistema y un dispositivo para tratar a un paciente. El sistema de la invención incluye un dispositivo generador de campo magnético creado utilizando un ferromagnético en polvo. El sistema incluye además un circuito en comunicación eléctrica con el núcleo magnético, y una fuente de poder en comunicación eléctrica con el circuito. El núcleo de polvo ferromagnético puede fabricarse mediante al menos uno de los siguientes: mecanizado, prensado, moldeo, encolado y extrusión. Además, el núcleo de polvo ferromagnético puede tener una estructura de brecha distribuida, donde la estructura de brecha opera para enfocar el campo magnético entre las caras polares del dispositivo magnético. El núcleo de polvo ferromagnético puede tener una cara de polo sombreada, donde la cara de polo comprende un canal cortado en la cara del poste con un giro en corto insertado en el canal. El núcleo de polvo ferromagnético puede comprender un material ferromagnético conductor de la electricidad como el hierro o un material no ferromagnético como cobre, bronce y/o aluminio, por ejemplo. Además, el sistema puede incluir un alambre o conductor que se enrolla alrededor de una estructura de bobina que actúa para aislar el alambre de la estructura del núcleo.

10 El método divulgado para tratar a un paciente incluye crear un campo magnético usando un dispositivo magnético que tiene un núcleo de polvo ferromagnético no lineal y aplicar el campo magnético al paciente para tratar al paciente como una función del campo magnético. El método además puede usar un núcleo de polvo ferromagnético que tiene una estructura de brecha distribuida que enfoca el campo magnético entre las caras polares del dispositivo magnético a través de la estructura de núcleo de brecha distribuida. El núcleo de polvo ferromagnético puede incluir un material ferromagnético conductor de electricidad, como hierro y/o un material no ferromagnético, como cobre, bronce y aluminio.

15 Breve descripción de los dibujos

20 Las Figuras 1 a 13 ilustran ejemplos de formas y configuraciones de núcleo, de acuerdo con la invención;

La Figura 14 es un diagrama de flujo de un método para tratar a un paciente;

La Figura 15 es un diagrama de bloques de un sistema para tratar a un paciente; y

35 La Figura 16 es un diagrama de flujo de un método para fabricar un núcleo magnético para tratar a un paciente.

Descripción detallada

40 En una realización de la invención, se contempla una estructura de núcleo de brecha distribuida, por ejemplo, una estructura de núcleo de brecha de aire. Debe apreciarse que el núcleo de brecha de aire se refiere a la estructura interna de un núcleo magnético, mientras que el "núcleo de aire" discutido en la sección Antecedentes de la invención se refiere a un enrollado sin ningún núcleo magnético. Un tipo de estructura de núcleo de brecha de aire distribuido se crea dispersando partículas ferromagnéticas en polvo en una matriz de material aislante. Debe apreciarse que la invención no se limita a un núcleo de polvo ferromagnético, sino que diversas realizaciones pueden incluir cualquier estructura de núcleo de brecha. La estructura de núcleo de brecha puede ser cualquier estructura en la que una o más partículas conductoras estén aisladas (o casi) entre sí.

45 El uso de estructuras de núcleo de brecha distribuida, como materiales de núcleo ferromagnético en polvo, reduce la fabricación compleja y la carga de costes correspondiente inherente a las estructuras laminadas. Además, debido al material aislante que separa las partículas ferromagnéticas en el material del núcleo, el núcleo es menos conductor y, como resultado, las pérdidas por corrientes parásitas son mínimas. Más específicamente, las brechas no conductoras pueden prohibir el flujo de corriente de una partícula ferromagnética a la siguiente y, por lo tanto, reducir el flujo general de corriente en el núcleo. Debido a que las corrientes parásitas resultan del flujo conductor de corriente en materiales magnéticos como el núcleo, la reducción del flujo conductor sirve para reducir las corrientes parásitas. Como resultado de las corrientes parásitas reducidas, la estructura de núcleo de brecha distribuida produce incluso menos calor que sus estructuras de núcleo ferromagnético equivalentes.

50 Por lo tanto, se pueden usar niveles más altos de potencia y corriente para impulsar bobinas fabricadas con un núcleo de brecha distribuida sin preocuparse por el calentamiento que puede ser excesivo para un paciente sometido a tratamiento. Además, estos niveles de potencia más altos se pueden lograr sin la necesidad de sistemas de enfriamiento sofisticados, típicos de las soluciones centrales de "aire". Además, estos niveles de conducción de corriente más altos pueden conducir los núcleos de brecha distribuida más cerca de su nivel de saturación para obtener una mayor intensidad de campo magnético, sin preocuparse por el consiguiente calentamiento indeseable. De hecho, en algunas realizaciones, el calentamiento debido a pérdidas resistivas en los enrollados puede ser mayor que el calor generado dentro del material de núcleo de brecha distribuida. En otras palabras, las características de calentamiento de los enrollados pueden proporcionar las únicas preocupaciones de calentamiento reales para el uso del paciente.

La reducción de las pérdidas por corrientes parásitas y la reducción concomitante en la generación de calor permite la operación del núcleo magnético en ciclos de trabajo proporcionalmente más altos. Desde la perspectiva de la aplicación médica, se puede lograr una terapia relativamente mayor y más intensa, lo que puede ser beneficioso para ciertas aplicaciones. Además de su temperatura reducida inherente, el núcleo también puede estar encerrado en una estructura que mejora aún más su rendimiento térmico. Por ejemplo, al encapsular el núcleo en una carcasa, el calor puede dirigirse a una superficie deseable para la radiación al aire circundante. Tal superficie puede, por ejemplo, estar ubicada lejos de superficies que tocan a un paciente o al operador.

También se pueden agregar espacios de aire y aislamiento térmico entre los enrollados u otros materiales generadores de calor para aislarlos de las superficies que pueden entrar en contacto con un paciente, por ejemplo. Típicamente, estas superficies deben mantenerse a 41.5 grados Celsius o menos para cumplir con los estándares de dispositivos médicos, bien conocidos por los expertos en la materia.

También debe apreciarse que el flujo de corriente reducido y la pérdida de corriente parásita obtenida con la estructura de núcleo de brecha distribuida no se encuentra en los núcleos creados por un proceso de sinterización. Esto se debe, en parte, porque el proceso de sinterización opera para colocar las partículas de polvo de hierro aisladas de nuevo en la conductividad eléctrica entre sí, y así promover el flujo de corriente y el aumento de las pérdidas por corrientes parásitas.

El material aislante puede ser cualquier material que ofrezca un nivel diferente de permeabilidad e inductancia en comparación con las partículas ferromagnéticas. Al introducir una brecha aislante, se aumenta la trayectoria del flujo magnético, lo que reduce la permeabilidad y la inductancia del material del núcleo. Puede ser deseable tener un núcleo con una permeabilidad mayor que 1. Además, debido a que la brecha distribuida reduce las corrientes parásitas, hay menos distorsiones de flujo. Esta estructura isotrópica relativamente mayor proporciona un flujo más uniformemente distribuido y facilita estructuras centrales más complejas y sofisticadas.

El polvo ferromagnético utilizado para hacer el núcleo puede estar hecho de partículas que tengan menos de 1.27 mm (0.05 pulgadas) de diámetro. Aunque debería apreciarse que las partículas pueden ser de cualquier tamaño en las realizaciones contempladas, debe apreciarse que la dimensión de partícula específica está relacionada con la frecuencia a la que debe operar el núcleo. Por ejemplo, si el núcleo debe ser pulsado a una frecuencia más alta, puede ser deseable usar partículas con una dimensión más pequeña. Las partículas ferromagnéticas pueden variar en tamaño y pueden no ser esféricas, sino más bien de forma irregular. En cualquier caso, debe apreciarse que se puede seleccionar un tamaño de partícula específico para reducir las pérdidas resultantes de las corrientes parásitas y las pérdidas por histéresis dentro de las partículas individuales.

Además, aunque la invención no se limita a ninguna formación particular, debe apreciarse que las partículas ferromagnéticas individuales pueden formularse a partir de hierro, aleaciones de hierro y amalgamas de otros materiales conductores o parcialmente conductores. Además, la composición del material de las partículas puede incluir metales no ferrosos tales como cobre, bronce, aluminio y elementos de aleación tales como carbono, silicio, níquel y cromo formulados para crear la estructura cristalina deseada y las características magnéticas deseadas. La saturación, la permeabilidad y las características de la curva B-H varían dependiendo de esta formulación seleccionada. Además, las partículas ferromagnéticas pueden recubrirse con una resina no conductora para, entre otras cosas, evitar la oxidación mientras se almacenan antes de que las partículas recubiertas se formen en la estructura deseada en el proceso de fabricación del núcleo.

Las realizaciones descritas incluyen un método para fabricar un dispositivo de núcleo magnético, por ejemplo, un dispositivo de núcleo ferromagnético en polvo. El método incluye seleccionar ciertos materiales ferromagnéticos en polvo. Los materiales se mezclan y comprimen para formar el núcleo. El polvo se puede presionar en un molde que tiene la forma final del núcleo. Alternativamente, los bloques de material comprimido pueden fabricarse y posteriormente mecanizarse a la geometría deseada. Además, las piezas componentes moldeadas o mecanizadas pueden ensamblarse mecánicamente en la geometría del núcleo final utilizando cemento, calentamiento o unión por otros medios mecánicos. El núcleo de polvo ferromagnético puede ser producido por cualquiera de varios procesos. Por ejemplo, la corriente de hierro fundido puede ser atomizada por un chorro de agua a alta presión.

Las partículas ferromagnéticas pueden recubrirse con cualquier sustancia apropiada. Por ejemplo, las partículas ferromagnéticas pueden recubrirse con una sustancia aislante, como silicato de metal alcalino, por ejemplo. La sustancia aislante proporciona aislamiento entre cada una de las partículas en el núcleo y, por lo tanto, crea el núcleo de brecha distribuida. En una realización, se usa una solución acuosa de silicato de metal alcalino que contiene hasta 39% en peso de sólidos de K_2O y SiO_2 , y hasta 54% en peso de sólidos de Na_2O y SiO_2 . Se puede agregar un agente humectante o tensioactivo, como el alquilfenoxilpolietoxietanol, por ejemplo, para facilitar el recubrimiento uniforme de las partículas.

Las sustancias apropiadas se mezclan y pueden secarse en la superficie al mismo tiempo. Se puede aplicar un revestimiento delgado de una resina adherente a las partículas ferromagnéticas. Dichas resinas pueden incluir

poliimidas, fluorocarbonos y acrílicos. La resina permite que las partículas permanezcan flexibles y, por lo tanto, capaces de soportar altas temperaturas sin descomponerse en residuos conductores.

5 Para formar el núcleo, el polvo se comprime. La compresión puede estar aproximadamente en el rango de 3.9-15.5 toneladas por cm cuadrado (25 a 100 toneladas por pulgada cuadrada). Se puede usar una forma para crear la forma deseada. Los componentes prensados pueden ser recocidos, por ejemplo, a 500 a 600 grados Celsius para aliviar las tensiones y reducir las pérdidas por histéresis.

10 Si se va a utilizar polvo ferromagnético para el núcleo magnético en una aplicación de este tipo, las partículas pueden aislarse entre sí, por ejemplo, con una separación entre partículas del 1% al 3%. Aunque este es solo un ejemplo. Cuando el polvo ferromagnético crudo se comprime hasta 15.5 toneladas por cm cuadrado (100 toneladas por pulgada cuadrada) y no se sinteriza, la densidad permanece 1% o 2% por debajo de la densidad real de hierro sólido, debido a grietas residuales o intersticios que permanecen vacíos o están llenos de resina de baja densidad. Como resultado, el polvo ferromagnético se puede comprimir hasta aproximadamente el 90% de la densidad teórica o mejor para tener una brecha de aire distribuida que contenga aislamiento inferior al 3% en cada una de las tres direcciones ortogonales, una de las cuales es la del flujo camino. En cualquiera de las realizaciones, el núcleo magnético puede ser una composición que permita que el núcleo se sature a 0.5 Tesla o más, por ejemplo.

20 Durante el proceso de fabricación, las partículas ferromagnéticas individuales en el polvo pueden mezclarse con un material aglutinante, por ejemplo fenólico o epoxi. El polvo ferromagnético puede entonces presionarse hasta su forma final. A continuación, se puede implementar un proceso de horneado o calentamiento para curar el material del núcleo. Después de que el núcleo ha sido curado, las partículas ferromagnéticas pueden separarse por aire o material de unión aislante que efectivamente da como resultado una brecha distribuida. Como resultado, la brecha se distribuye por todo el núcleo.

25 El dispositivo y las técnicas novedosas pueden usarse para muchos propósitos, incluido el tratamiento de pacientes con afecciones médicas. Esta aplicabilidad se discutirá en el contexto de TMS para proporcionar una mayor comprensión. Sin embargo, debe apreciarse que las técnicas tienen una aplicabilidad más allá de TMS también están contempladas por la invención.

30 En solo un ejemplo, se contempla un método para tratar a un paciente mediante la creación de un campo magnético utilizando un dispositivo magnético que tenga un núcleo no lineal. Como se discutirá con referencia a las Figuras 1-13, el núcleo puede asumir varias formas y tamaños diferentes y diferentes. Las formas y los tamaños pueden variar con el área particular de la anatomía del paciente que necesita tratamiento, así como el área externa del paciente en la que se puede colocar el imán. Por ejemplo, en solo una realización, el núcleo puede tener una estructura en forma en U que facilita colocar el núcleo cerca de la cabeza de un paciente con el fin de tratar el cerebro con campos magnéticos pulsados para el tratamiento de la depresión. Esto puede lograrse, por ejemplo, estimulando tejido (*por ejemplo*, tejido cerebral), nervios y/o músculo, por ejemplo, desde un área relativamente próxima a la superficie cutánea y el área de tratamiento.

40 Además, el núcleo utilizado para tratar al paciente puede ser un núcleo de brecha distribuida y más específicamente un núcleo de polvo ferromagnético. Como se discutió, las realizaciones no se limitan a ninguna composición, sino que contemplan cualquier composición de material que cree efectivamente una estructura de núcleo de brecha distribuida. Además, las realizaciones contemplan cualquier tipo de estructuras centrales, incluyendo ferromagnéticas, donde la forma de la estructura central tiene una estructura sin forma de arco. Por ejemplo, las realizaciones contemplan el uso de un material de núcleo no sinterizado. Además, otras realizaciones contemplan un núcleo de polvo ferromagnético de forma no lineal.

50 El campo magnético que pasa a través del núcleo puede aplicarse al paciente con el fin de tratarlo o diagnosticarlo. Las realizaciones no se limitan a un nivel o intensidad específicos del campo magnético, sino que contemplan cualquier intensidad de campo, enfoque y duración necesarios para tratar o diagnosticar al paciente deseado.

55 Un sistema novedoso puede incluir un dispositivo generador de campo magnético creado usando un núcleo ferromagnético en polvo, un circuito en comunicación eléctrica con el núcleo magnético, y que es accionado por una fuente de poder en comunicación eléctrica con el circuito.

60 Se puede proporcionar una fuente de poder para que el núcleo genere el campo magnético requerido. La fuente de poder puede estar en comunicación eléctrica con los enrollados envueltos alrededor de una parte del núcleo. La fuente de poder puede crearse para proporcionar una fuente de corriente sustancialmente constante o sustancialmente constante. Por ejemplo, la fuente de poder puede proporcionar una energía sustancialmente constante o una fuente de corriente sustancialmente constante a un condensador, que luego se descarga al núcleo para crear el campo magnético.

65 La fuente de poder puede funcionar con un voltaje de entrada de corriente alterna en el rango de 85 voltios a 264 voltios. De esta manera, el dispositivo de la invención puede funcionar utilizando energía típicamente disponible en entornos residenciales y comerciales.

Finalmente, se describe un método para tratar la depresión. Como parte del método, se selecciona un paciente que padece un trastorno depresivo. El cerebro del paciente se estimula magnéticamente utilizando un estimulador magnético transcraneal con un núcleo magnético. El núcleo puede ser un núcleo ferromagnético que tiene una estructura en forma en U y/o una estructura de núcleo de brecha distribuida que tiene cualquier forma y estructura de núcleo.

Debe apreciarse que el uso de núcleo de polvo ferromagnético hace más factible muchas geometrías de núcleo posibles. De hecho, el proceso de fabricación del núcleo de brecha distribuida (*por ejemplo*, núcleo de polvo ferromagnético) permite que la geometría del núcleo tenga una variedad de posibilidades. Se puede hacer que la forma y el tamaño precisos de la geometría del núcleo varíen dependiendo de diversos factores. Por ejemplo, aunque no es una lista exclusiva de consideraciones, se pueden considerar las siguientes al decidir sobre el tamaño y la geometría del núcleo: el uso del núcleo, el área de montaje y el volumen disponibles, la radiación permitida, las limitaciones en los enrollados, la temperatura de funcionamiento y cómo se montará el núcleo. En consecuencia, la forma geométrica de un núcleo puede adoptar cualquier forma, incluido un cilindro, una bobina, un toroide, un no toroide u otras formas posibles.

Además, también debe apreciarse que el proceso de fabricación de polvo ferromagnético facilita la construcción del núcleo como múltiples componentes o piezas. Los núcleos de polvo ferromagnético de piezas múltiples, cada pieza hecha de material magnético similar o diferente, se pueden usar para formas extremadamente complejas o construcciones de núcleo más grandes. Estas piezas individuales, de permeabilidades diferentes o similares, se pueden unir mediante pegado y/o cualquier otra técnica de unión bien conocida por los expertos en la materia. Esto se facilita, en parte, debido a la facilidad de fabricación y la conformación del núcleo que proporciona el proceso del núcleo de polvo.

Además, el proceso de fabricación del núcleo de polvo también facilita el uso de otros materiales para dar forma al campo magnético proporcionado por la estructura del núcleo. Por ejemplo, puede ser deseable desviar o redirigir una cierta porción del campo magnético creado lejos de ciertas partes de la anatomía. Por ejemplo, para la estimulación cerebral, puede ser deseable proteger el nervio trigémino de ser estimulado y causar molestias al paciente. Esto se puede lograr utilizando cualquier cantidad de técnicas.

Un ejemplo de técnica ubica a un conductor en un área de tratamiento en relación con el área protegida. El conductor puede actuar para reducir la estimulación de un área en la cercanía cutánea del paciente. Esto se puede lograr modificando un campo eléctrico o magnético creado por la estimulación transcutánea. Además, se puede lograr mediante la modificación del campo eléctrico mediante la modificación del flujo magnético creado por la estimulación transcutánea.

Las Figuras 1 a 13 proporcionan diversos ejemplos de formas y configuraciones de núcleo que son facilitadas por las realizaciones contempladas. Sin embargo, debe apreciarse que las Figuras 1 a 13 no se proporcionan para detallar todas las formas y configuraciones posibles contempladas por la invención. En cambio, las figuras simplemente proporcionan ciertos ejemplos para ayudar a comprender solo algunas de las realizaciones contempladas.

En general, puede observarse que los núcleos magnéticos mostrados en las Figuras 1 a 13 comprenden esencialmente tres secciones. Aunque es posible que los núcleos no tengan que construirse por separado en tres de tales secciones, describir su forma como tal facilita una mayor discusión de la forma y, por lo tanto, no pretende ser limitante de ninguna manera.

La Figura 1 se usará para discutir las características del núcleo. Como se muestra en la Figura 1, un núcleo 100 incluye una primera sección 101, una segunda sección 102 y una tercera sección 103. En el contexto de la Figura 1 que es una forma en U cuadrada, la segunda sección 102 sirve como un puente que conecta la primera sección 101 y la tercera sección 103, que sirven como postes o mástiles para la forma en U. La primera sección 101 está unida con la segunda sección 102 en ángulo recto. De manera similar, la tercera sección 103 está unida con la segunda sección 102 en ángulo recto. Debe apreciarse que estas secciones pueden fabricarse como una pieza prensada completa, o pueden presionarse individualmente y luego ensamblarse para conformar la forma en U.

Como se muestra en las Figuras 2 a 13, se representan otras formas y configuraciones que pueden ser modificaciones o alteraciones menores en la Figura 1. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 2, cualquiera de los extremos de la primera, segunda y/o tercera sección pueden estar en ángulo o biselados. Dichos ángulos o biselados se pueden lograr usando cualquier valor, por ejemplo, usando un ángulo de 45 grados. Dichas modificaciones a la forma de la cara del polo son utilizadas por los expertos en la materia para redirigir y optimizar la distribución espacial del campo magnético para la aplicación prevista. Además, las secciones anguladas pueden tener forma de arco como se muestra en la Figura 3.

Los ángulos se pueden hacer en ambos extremos de esquina del núcleo como se muestra en la Figura 2, o en uno de los extremos de esquina del núcleo como se muestra en la Figura 13. De manera similar, los ángulos se pueden hacer en los extremos opuestos con respecto a los extremos de esquina, como se muestra en la Figura 5. Alternativamente,

los ángulos representados en la Figura 5 pueden tener forma de arco o suavizarse, como se muestra en las Figuras 4 y 6. Además, las secciones primera y tercera pueden tener forma de L como se muestra en la Figura 7 con una segunda sección lineal, o como se muestra en la Figura 8 con una segunda sección en forma de arco.

5 Como se muestra en la Figura 9, el núcleo magnético puede ser un núcleo en forma de arco que tiene un alambre enrollado alrededor de cualquier parte de su eje. Alternativamente, como se muestra en las Figuras 10 y 11, el núcleo puede ser una estructura de forma lineal que tiene extremos perpendiculares o biselados con respecto a su eje principal. En ambos casos, un alambre puede enrollarse alrededor de cualquier parte de su eje. El alambre enrollado puede ser un solo hilo o múltiples hilos en paralelo eléctricamente. El alambre puede incluir una lámina metálica de material conductor con o sin aislamiento, y/o un alambre magnético extrudido con o sin aislamiento. Además, como se muestra en la Figura 12, el núcleo puede tener más de 2 polos con enrollados alrededor de uno o más de los polos.

15 Debe apreciarse que la construcción, el tamaño y la forma del núcleo pueden depender de cómo se instalarán los enrollados en el componente del núcleo. Por ejemplo, ciertas realizaciones contemplan enrollados que se enrollan directamente alrededor y/o en el núcleo. Además, otras realizaciones pueden incluir enrollamientos que se enrollan en una manga o una bobina que se desliza sobre una porción del núcleo, o se enrollan en un mandril, encapsulados y retirados para su posterior ensamblaje en el núcleo. Debe apreciarse que ciertas realizaciones pueden incluir una combinación de estos enfoques. Se puede cortar un canal en la cara del poste para permitir la instalación de enrollados o alambres. Por ejemplo, un giro en corto puede insertarse en el canal y conectarse entre sí fuera del canal.

20 El alambre utilizado para los enrollados puede aislarse para evitar que se enrollen estrechamente y que las vueltas adyacentes se acorten. En el contexto de enrollados enrollados directamente, el alambre puede ser de un calibre tal que evite que el núcleo corte el aislamiento, por ejemplo, con superficies o bordes afilados. Por lo tanto, para acomodar tales núcleos enrollados directamente, el núcleo puede tener una superficie lisa y sinuosa, o en algunos casos puede proporcionar un radio de esquina para acomodar las vueltas.

25 La bobina puede ser una estructura que incluye una sola bobina o múltiples bobinas. La bobina puede proporcionar propiedades de aislamiento con respecto al resto del núcleo, así como proporcionar capacidades de operación y seguridad. El alambre puede enrollarse alrededor de las caras del poste del núcleo. Cuando el alambre se enrolla alrededor de dos o más polos, el número de vueltas del enrollado puede ser igual entre ambos polos. Además, el alambre puede enrollarse alrededor de un punto central del núcleo, en lugar de o además de enrollarse alrededor de las caras polares del núcleo. Cuando se enrolla alrededor de ambos, el número de vueltas del enrollado alrededor de las caras del poste puede ser una fracción del número de vueltas alrededor del punto central del núcleo.

35 Nuevamente, debe apreciarse que la fabricación de un núcleo presionando polvo ferromagnético en un molde permite una amplia gama de formas de núcleo y, por lo tanto, soluciones de enrollado más variadas. Por ejemplo, en una realización de un núcleo de brecha distribuida, una bobina puede usarse más fácilmente para prefabricar con precisión y colocar el enrollado en el núcleo.

40 Las Figuras 1B, 2B y 3B ilustran cómo uno o más alambres pueden enrollarse alrededor de al menos una porción del núcleo magnético. Como se muestra en las Figuras 1B, 2B y 3B, los enrollados pueden enrollarse alrededor de las secciones primera y tercera del núcleo. Tal enrollado puede ser un enrollado único enrollado alrededor de la primera y tercera secciones, o dos o más enrollados individuales cada uno enrollado alrededor de la primera y tercera secciones. Alternativamente, como se muestra en las Figuras 1A, 2A y 3A, el enrollado puede enrollarse alrededor de la segunda sección del núcleo. Nuevamente, el enrollado central puede ser un enrollado simple o múltiple.

45 La Figura 14 es un diagrama de flujo de un método para tratar a un paciente. Como se muestra en la Figura 14, en 1401 se crea un campo magnético utilizando un dispositivo magnético de núcleo de brecha distribuida. En 1402, el dispositivo magnético se coloca cerca de un área cutánea en el paciente, por ejemplo, cerca de la cabeza del paciente. En 1403, se estimula una parte de la anatomía del paciente que se desea tratar (por ejemplo, cerebro). En 1404, el campo magnético se aplica al paciente. En 1405, el paciente es tratado, por ejemplo por depresión, incontinencia y control de peso, con el campo magnético. Otros tipos de afecciones también pueden tratarse utilizando estas técnicas. Estos pueden incluir, entre otros, el tratamiento del sistema nervioso periférico, la rehabilitación del músculo del paciente.

50 También debe tenerse en cuenta que las técnicas descritas pueden usarse además para diagnosticar directamente la condición de un paciente. Además, las técnicas pueden usarse para diagnosticar una respuesta a medicamentos u otra terapia y/o para cuantificar la efectividad de tales terapias. En solo uno de los muchos ejemplos posibles, los productos farmacéuticos pueden tener efectos (*es decir*, directos o secundarios) en el rendimiento del sistema nervioso central. Estos efectos pueden observarse proporcionando estimulación (*por ejemplo*, TMS) y observando potenciales evocados, respuesta motora, velocidades de conducción u otras respuestas, solo por nombrar algunos de los muchos efectos observados contemplados. Los cambios en la respuesta pueden usarse para cuantificar el rendimiento o para determinar la dosificación óptima, por ejemplo.

65 Además, muchas patologías pueden diagnosticarse utilizando las técnicas descritas, una herramienta de investigación para observar la respuesta neurológica. Dichas patologías incluyen, entre otras, enfermedades degenerativas,

extensión de la lesión traumática, progresión de enfermedades, deficiencias sistémicas y anomalías congénitas (*por ejemplo*, tinnitus). Aquí se proporciona una lista parcial de tales condiciones a los fines de una mayor comprensión. Sin embargo, el alcance de las realizaciones descritas no se limita a esta lista. Estas incluyen la evaluación o la medición del efecto de productos farmacéuticos, incluidos anticonvulsivos, medicamentos para el Alzheimer, antipsicóticos, analgésicos, ansiolíticos, hipnóticos (sedantes), analgésicos (centrales), medicamentos para el TDAH y anestésicos. Solo algunas de las aplicaciones de diagnóstico contempladas incluyen la función motora comprometida, enfermedades degenerativas (*por ejemplo*, Alzheimer, Parkinson, Esclerosis Lateral Amiotrófica), esclerosis múltiple, neuropatía diabética, neuropatía desmielinizante crónica, neuropatía desmielinizante aguda, epilepsia, deficiencia de vitamina B12 (*por ejemplo*, anemia perniciosa), deficiencia de vitamina E, neurosarcoidosis, tinnitus y rehabilitación del accidente cerebrovascular.

Otros trastornos también pueden tratarse con las técnicas descritas, incluido el tratamiento de un paciente como un ser humano que padece trastorno depresivo mayor, epilepsia, esquizofrenia, enfermedad de Parkinson, síndrome de Tourette, esclerosis lateral amiotrófica (ALS), esclerosis múltiple (MS), enfermedad de Alzheimer, trastorno de déficit de atención/hiperactividad, obesidad, trastorno bipolar/manía, trastornos de ansiedad (trastorno de pánico con y sin agorafobia, fobia social también conocida como trastorno de ansiedad social, trastorno de estrés agudo, trastorno de ansiedad generalizada), trastorno de estrés posttraumático (uno de los trastornos de ansiedad en el DSM), trastorno obsesivo compulsivo (uno de los trastornos de ansiedad en el DSM), dolor (migraña, neuralgia del trigémino) (también: trastornos de dolor crónico, incluido dolor neuropático, *por ejemplo*, dolor debido a la neuropatía diabética, neuralgia postherpética y trastornos del dolor idiopático, *por ejemplo*, fibromialgia, síndromes regionales de dolor miofascial), rehabilitación después de un accidente cerebrovascular (inducción de neuroplasticidad), tinnitus, estimulación de neuronas implantadas para facilitar la integración, trastornos relacionados con sustancias (diagnósticos de dependencia y abuso y abstinencia de alcohol, cocaína, anfetamina, cafeína, nicotina, cannabis), lesión y regeneración/rehabilitación de la médula espinal, lesión en la cabeza, reversión de la privación del sueño, trastornos primarios del sueño (insomnio primario, hipersomnia primaria, trastorno del sueño del ritmo circadiano), mejoras cognitivas, demencias, trastorno disfórico premenstrual (PMS), sistemas de administración de fármacos (cambiando la permeabilidad de la membrana celular a un fármaco), inducción de síntesis de proteínas (inducción de la transcripción y traducción), tartamudeo, afasia, disfagia, temblor esencial o trastornos alimenticios (bulimia, anorexia, atracones).

El método puede incluir además determinar el llamado "umbral motor" del paciente. Más específicamente, el dispositivo magnético puede moverse sobre un área particular hasta que se proporcione alguna indicación de posicionamiento. Por ejemplo, en el contexto de la estimulación magnética del cerebro, el dispositivo magnético puede moverse sobre la cabeza del paciente hasta que el pulgar del paciente se mueva o se flexione, indicando un punto de umbral motor. Esta determinación del umbral del motor puede estar en una frecuencia similar o diferente, por ejemplo, usando una frecuencia de estimulación de 1 Hz.

Desde este punto, el dispositivo magnético se puede mover a una ubicación de tratamiento deseada. Por ejemplo, para el tratamiento TMS del cerebro, el dispositivo magnético puede ubicarse aproximadamente a 5 centímetros anteriormente del punto de umbral motor. Durante el tratamiento con TMS, en algunas realizaciones, la salida del estimulador se puede establecer en aproximadamente el 110% del umbral motor relajado con quizás una tasa de repetición de aproximadamente 10 Hz.

La Figura 15 es un diagrama de bloques de un sistema para tratar a un paciente. Como se muestra en la Figura 15, un sistema 1500 para tratar a un paciente incluye un dispositivo generador de campo magnético 1501. El dispositivo generador de campo magnético 1501 puede tener una estructura de núcleo de brecha distribuida. Además, un circuito 1502 está en comunicación eléctrica con el dispositivo generador de campo magnético.

El circuito puede actuar como un interruptor para impulsar el dispositivo generador de campo magnético de tal manera que se trate la condición deseada. De esta manera, el campo magnético puede aplicarse al paciente en ciclos de forma intermitente. La frecuencia de estimulación exacta o la frecuencia en que se pulsa el imán puede variar dependiendo de la aplicación particular (*por ejemplo*, el tamaño del imán y el área de estimulación). Por ejemplo, en solo algunas realizaciones, puede ser deseable estimular durante un período de cinco segundos, seguido de descanso durante un período de cinco segundos y luego repetir la estimulación continuamente durante otros cinco segundos. Mientras están siendo estimulados, es deseable tener los grupos musculares continuamente excitados. Este requisito dicta la necesidad de continuar pulsando los núcleos a una frecuencia de repetición de 15 Hz. Debido a las grandes corrientes involucradas durante cualquier disparo del núcleo, es necesario hacer que los núcleos sean lo más eficientes posible. Es deseable enfocar el campo magnético en la región objetivo del estímulo, excluyendo las regiones circundantes. Los núcleos especialmente diseñados que ofrece esta invención dan cuenta de esa capacidad de enfoque.

Además, una fuente 1503 de poder puede estar en comunicación eléctrica con el circuito. La fuente de poder puede proporcionar corriente continua (cc) o corriente alterna (ca). Además, los niveles de potencia pueden ser consistentes con los disponibles en entornos residenciales y comerciales.

La Figura 16 es un diagrama de flujo de un método para fabricar un núcleo magnético para tratar a un paciente. Como se muestra en la Figura 16, en 1601, las partículas ferromagnéticas se seleccionan con un recubrimiento aislado. En 1601, las partículas ferromagnéticas se mezclan y en 1602, las partículas ferromagnéticas se forman en una estructura central. En 1604, un conductor (*por ejemplo*, alambre) se enrolla alrededor de la estructura central. En 1605, una fuente de poder está conectada a la estructura central.

Aunque no se muestra por razones de brevedad, debe tenerse en cuenta que se pueden aplicar configuraciones de enrollado similares a cualquiera de las formas de núcleo posibles, ilustradas en las figuras o de otra manera. La descripción en este documento con respecto a las formas y configuraciones de enrollado del núcleo se han proporcionado para facilitar la discusión y la comprensión de las muchas formas y configuraciones posibles que están dentro del alcance de las realizaciones contempladas. Del mismo modo, debe apreciarse que estas formas y configuraciones son igualmente aplicables a cualquier tipo de núcleo magnético utilizado para tratar y/o diagnosticar a un paciente, incluidos, entre otros, polvo prensado, sinterizado, cinta enrollada, y alambre solamente o estructuras de núcleo de "aire".

Debe entenderse que las realizaciones ilustrativas anteriores se han proporcionado simplemente con el propósito de explicación y de ninguna manera deben interpretarse como limitantes de la invención. Las palabras utilizadas aquí son palabras de descripción e ilustración, en lugar de palabras de limitación. Además, las ventajas y objetivos descritos en este documento pueden no ser realizados por todas y cada una de las realizaciones que practican la presente invención. Además, aunque la invención se ha descrito en el presente documento con referencia a estructuras, materiales y/o realizaciones particulares, la invención no pretende limitarse a los detalles descritos en el presente documento.

Por ejemplo, aunque gran parte de la discusión se basó en el uso de una estructura de núcleo de brecha distribuida de polvo prensado, debe apreciarse que las realizaciones contempladas incluyen el uso de cualquier estructura de núcleo, incluyendo "núcleo de aire", sin sinterizar, y otras estructuras centrales ferromagnéticas, por ejemplo. Además, aunque se han descrito ciertas formas y configuraciones de núcleo en este documento, debe apreciarse que las formas se proporcionan simplemente para proporcionar una comprensión de las muchas formas de núcleo contempladas por las realizaciones.

Además, aunque la divulgación aborda el tratamiento de pacientes, debe apreciarse que las técnicas descritas en este documento también contemplan el diagnóstico del paciente. De hecho, cuando la divulgación se refiere al tratamiento de pacientes para ciertas afecciones, las técnicas se aplican igualmente a la monitorización y diagnóstico de pacientes para las mismas afecciones o similares.

Los expertos en la materia, con el beneficio de las enseñanzas de esta especificación, pueden efectuar numerosas modificaciones a la misma y pueden hacerse cambios sin apartarse del alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un dispositivo para tratar a un paciente usando estimulación magnética transcraneal, TMS, comprendiendo el dispositivo: un núcleo magnético que tiene una estructura de núcleo de brecha distribuida que está adaptada para su uso en conexión con estimulación magnética transcutánea, en donde la estructura de núcleo de brecha distribuida comprende una matriz de brechas no conductoras.
- 10 2. El dispositivo de la reivindicación 1, en donde el núcleo magnético está fabricado por al menos uno de los siguientes: mecanizado, prensado, moldeo, encolado o extrusión.
- 15 3. El dispositivo de la reivindicación 1, en donde el núcleo magnético se fabrica mediante al menos uno de los siguientes procesos: pegar o unir estructuras de núcleo individuales.
4. El dispositivo de la reivindicación 1, en donde el núcleo magnético tiene una permeabilidad mayor que 1.
5. El dispositivo de la reivindicación 1, en donde el núcleo magnético comprende al menos una cara polar.
- 20 6. El dispositivo de la reivindicación 1, en donde el núcleo magnético comprende un polvo de partículas ferromagnéticas recubiertas con una sustancia aislante.
7. El dispositivo de la reivindicación 6, en donde las partículas ferromagnéticas comprenden al menos uno de los siguientes: un material ferromagnético conductor de electricidad, hierro, cobre, bronce o aluminio.
- 25 8. El dispositivo de la reivindicación 1, en donde el núcleo magnético comprende partículas ferromagnéticas combinadas con un material de unión aislante de modo que las partículas ferromagnéticas estén sustancialmente aisladas entre sí.
- 30 9. El dispositivo de la reivindicación 8, en donde las partículas ferromagnéticas y el material de unión aislante se comprimen hasta aproximadamente el 90% de la densidad teórica o mayor.
10. El dispositivo de la reivindicación 1, que comprende además:
un circuito en comunicación eléctrica con el núcleo magnético; y
35 una fuente de poder en comunicación eléctrica con el circuito.
11. El dispositivo de la reivindicación 1, en donde el núcleo magnético se satura a 0.5 Tesla o más.
- 40 12. El dispositivo de la reivindicación 1, en donde el núcleo magnético tiene una geometría no toroidal.
13. El dispositivo de la reivindicación 1, en donde el conductor está enrollado alrededor del núcleo magnético.
14. El dispositivo de la reivindicación 1, en donde el núcleo magnético tiene una forma no lineal.

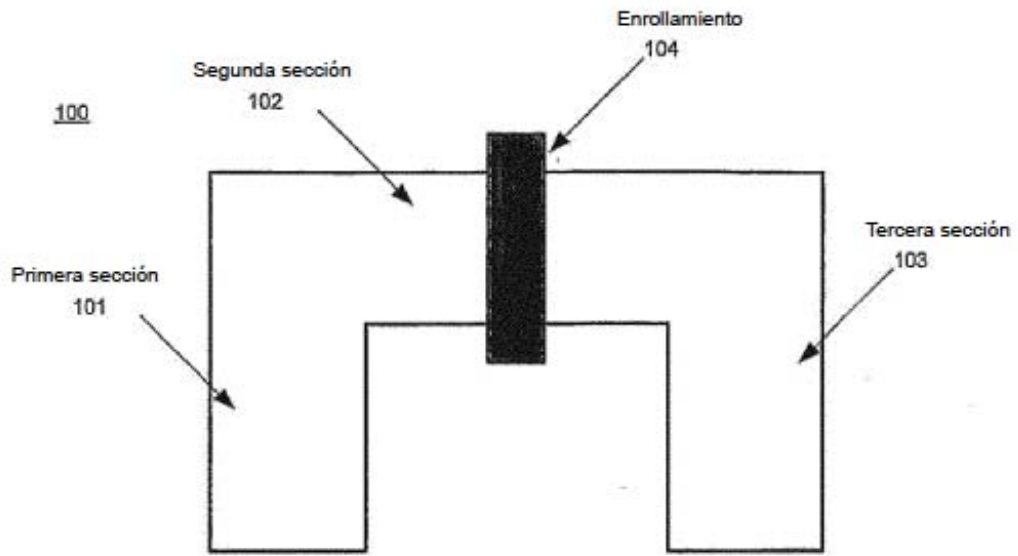


Figura 1A

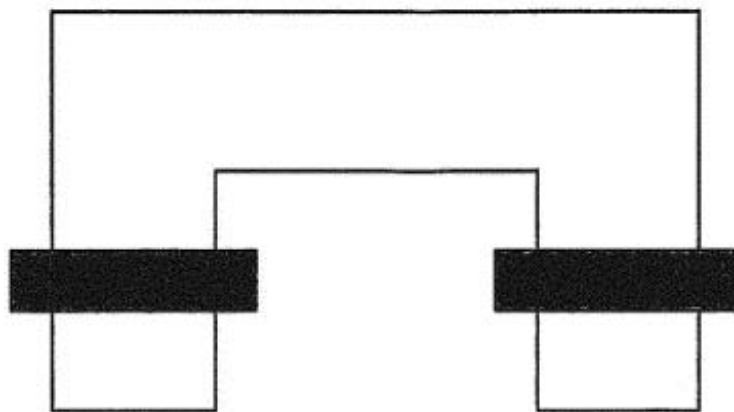


Figura 1B

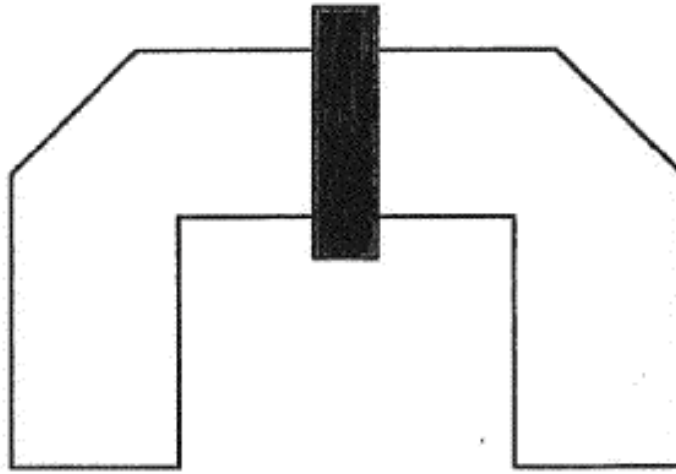


Figura 2A

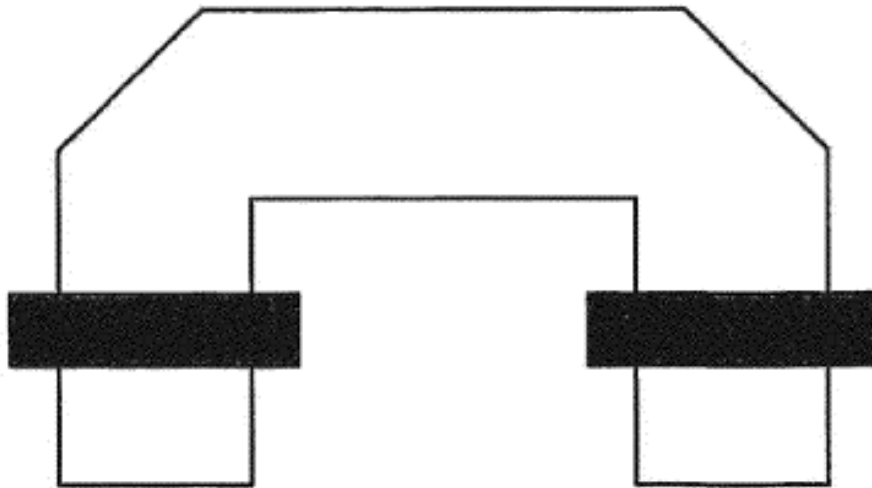


Figura 2B

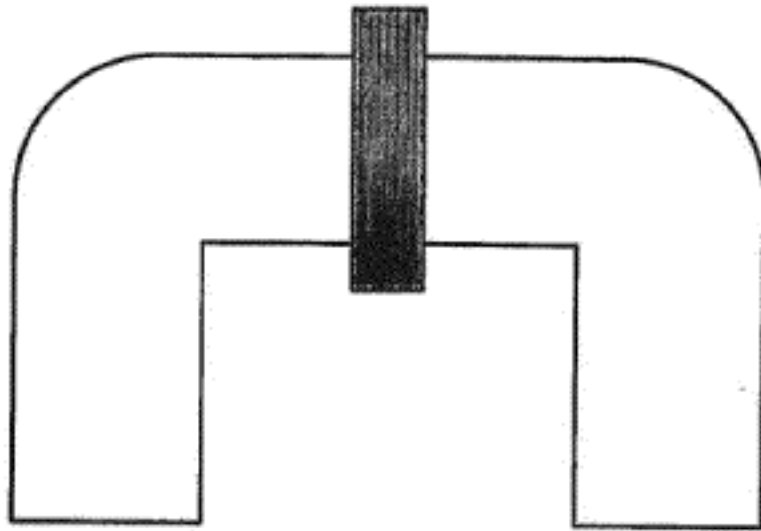


Figura 3A

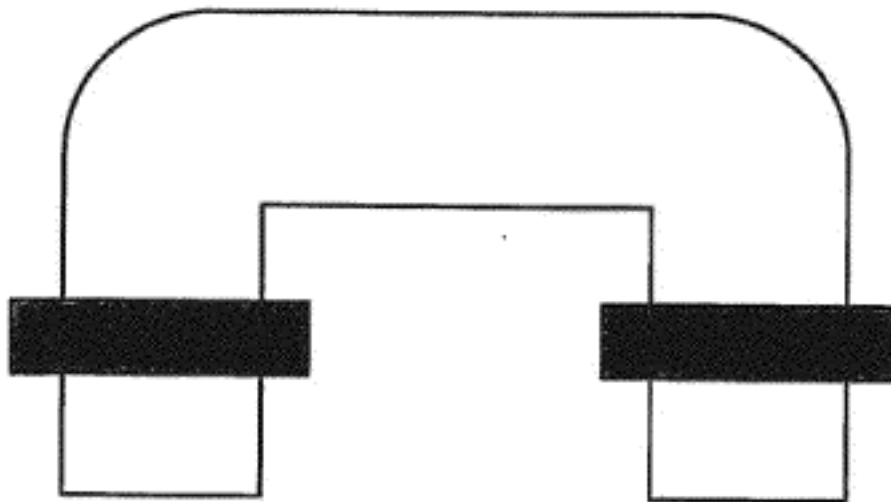


Figura 3B

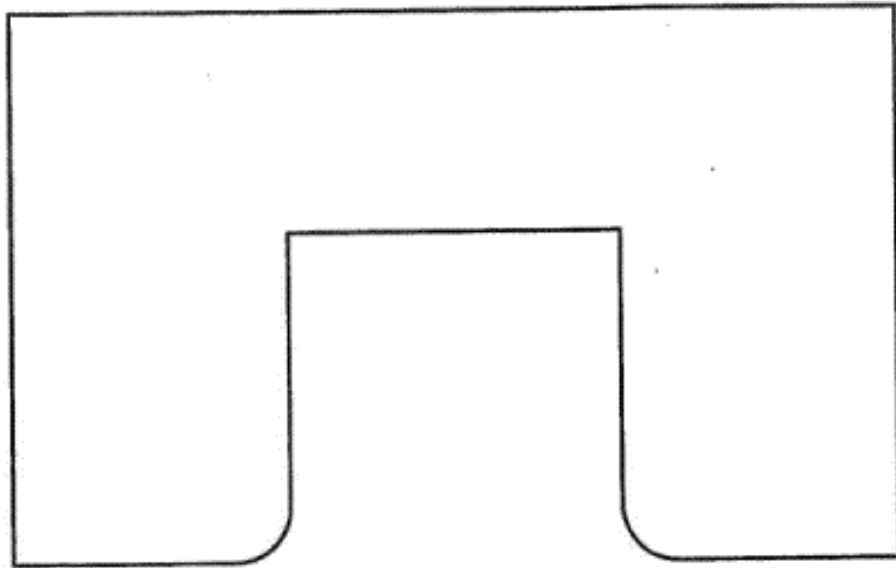


Figura 4

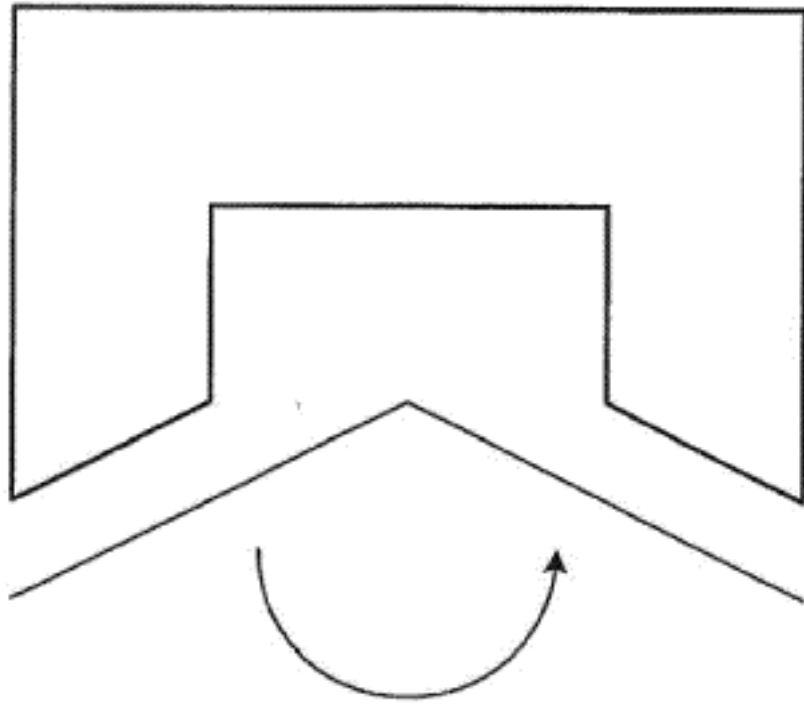


Figura 5

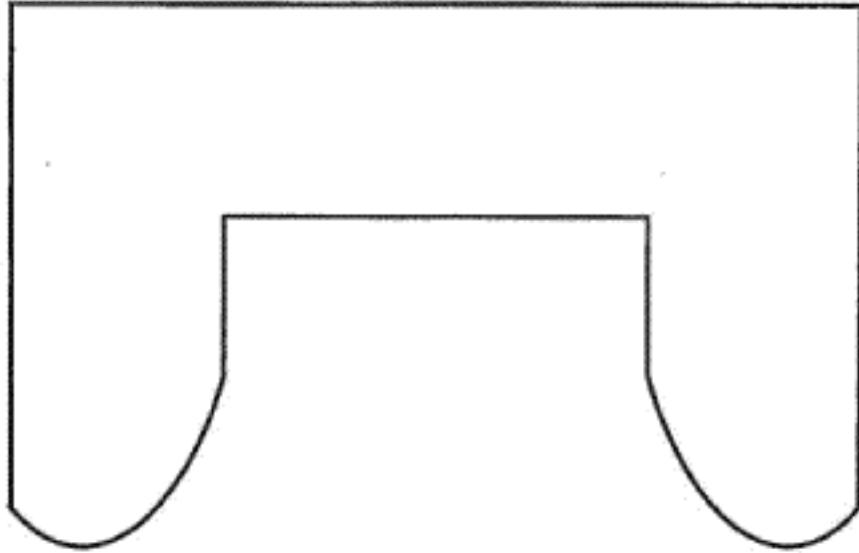


Figura 6

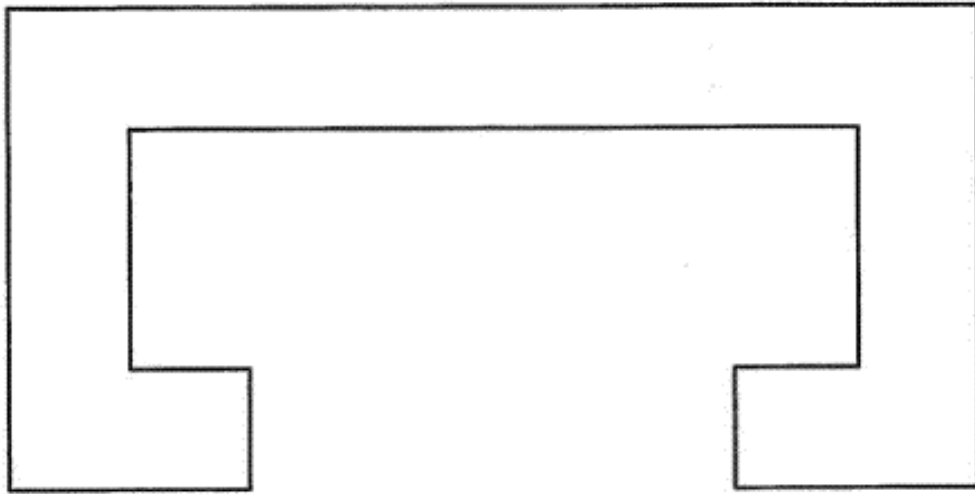


Figura 7



Figura 8

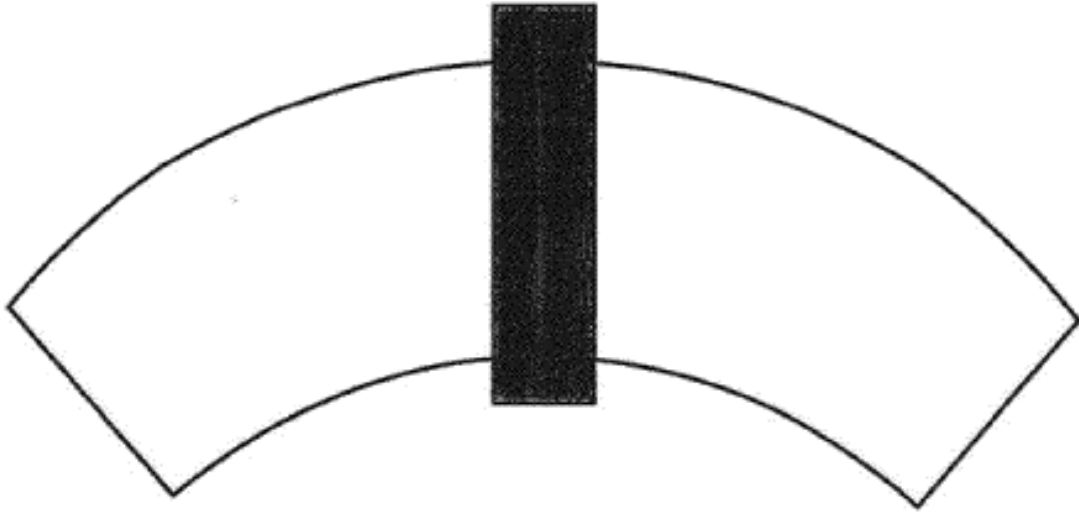


Figura 9

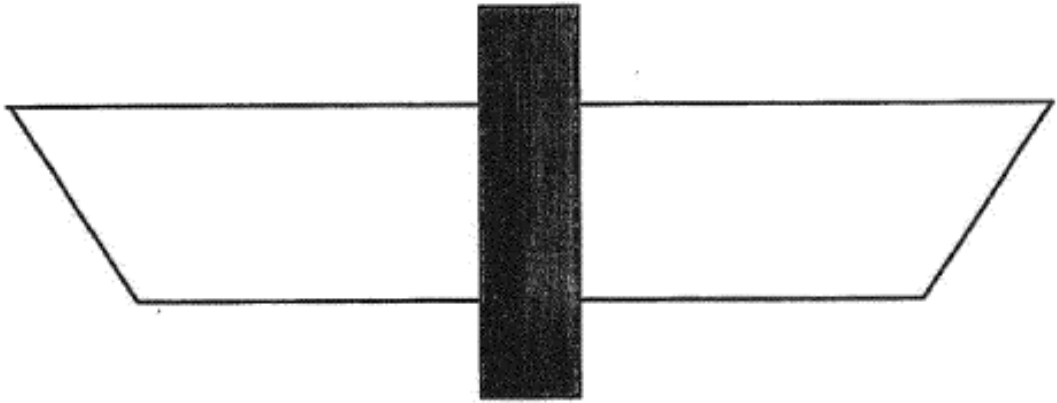


Figura 10

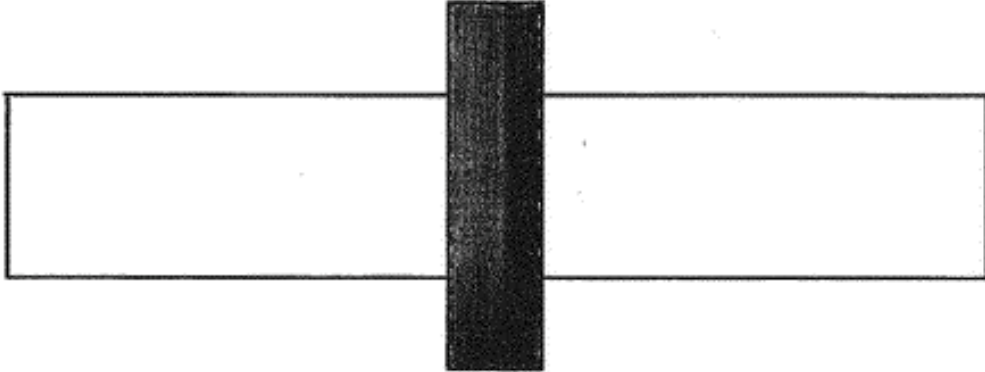


Figura 11

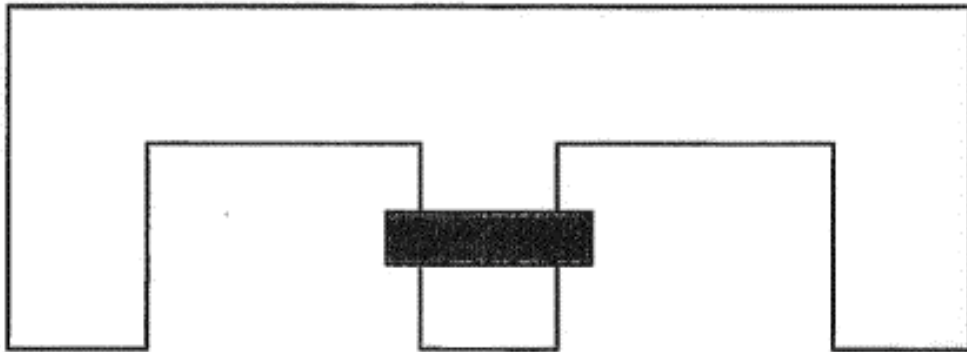


Figura 12

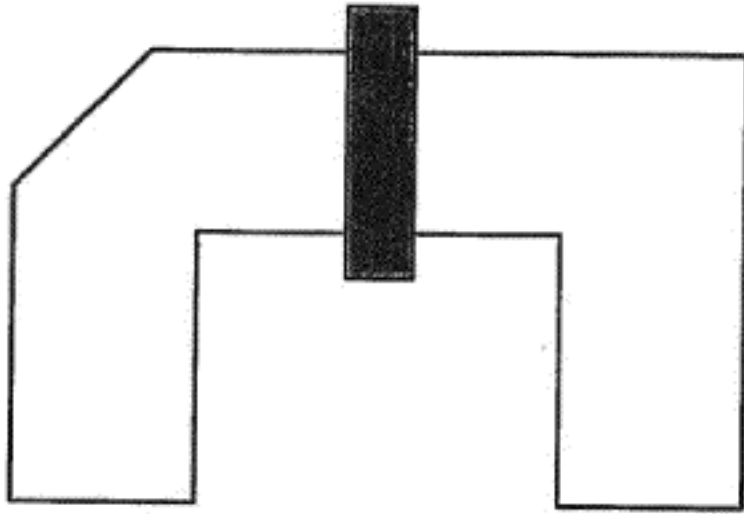


Figura 13

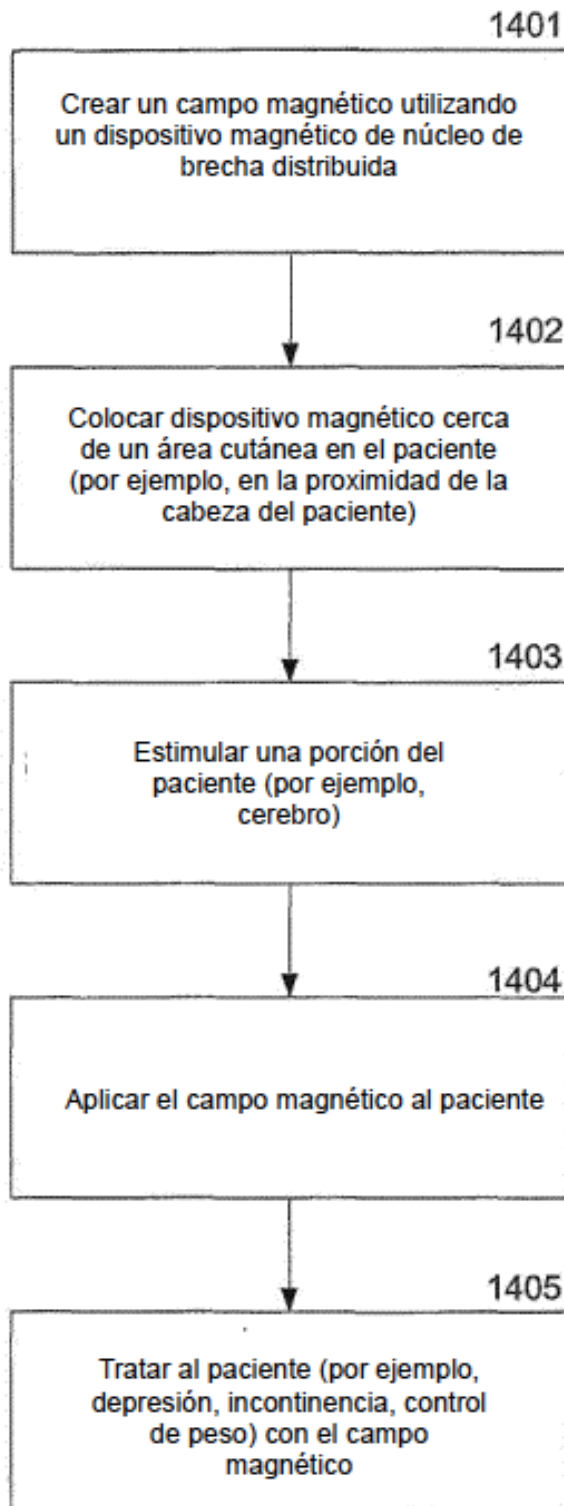


Figura 14

1500

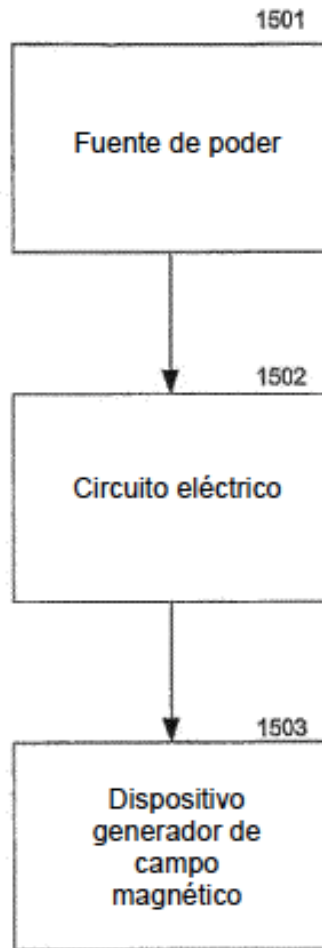


Figura 15

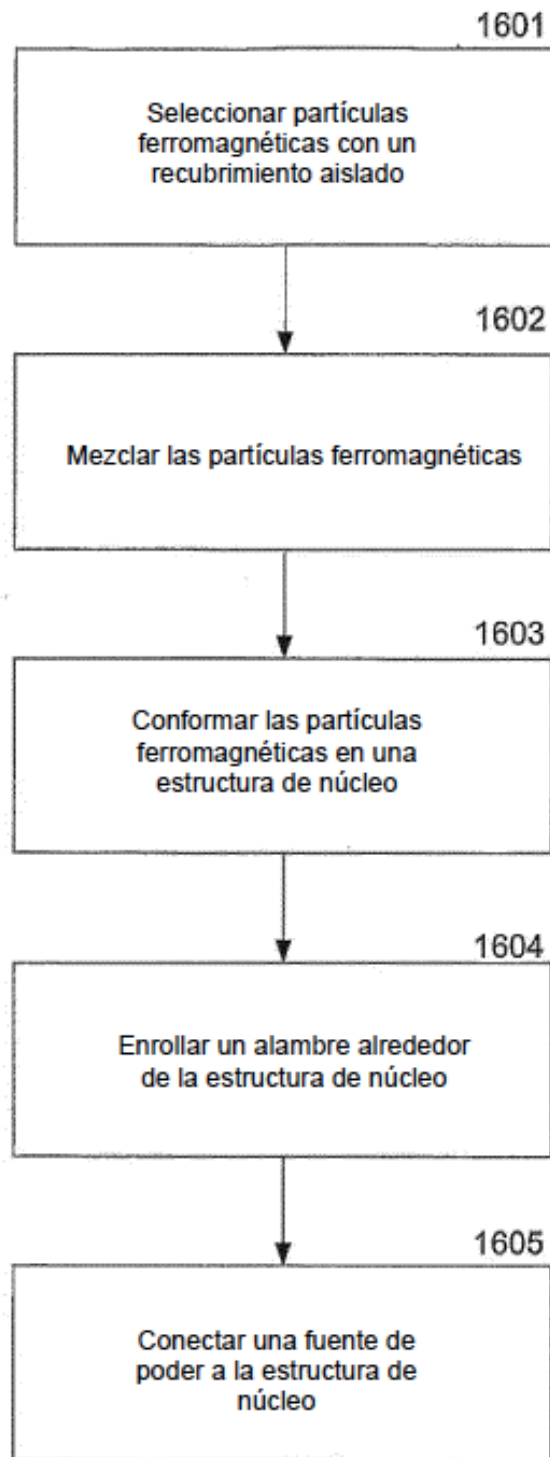


Figura 16