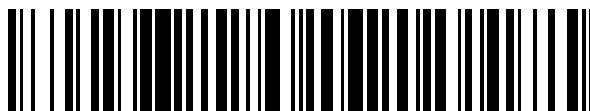


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 796 122**

51 Int. Cl.:

G01D 5/245 (2006.01)

G01L 3/10 (2006.01)

G01P 3/487 (2006.01)

G01L 1/12 (2006.01)

G01R 33/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.10.2011** **E 11186673 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.03.2020** **EP 2447675**

54 Título: **Procedimiento y aparato para codificación magnética seccional continua para medición de par en ejes grandes**

30 Prioridad:

28.10.2010 US 914344

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

25.11.2020

73 Titular/es:

GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US

72 Inventor/es:

BALLER, MARKO y
SIHLER, CHRISTOF

74 Agente/Representante:

CONTRERAS PÉREZ, Yahel

ES 2 796 122 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

Procedimiento y aparato para codificación magnética seccional continua para medición de par en ejes grandes

- 5 Esta invención se refiere, en general, a la codificación magnética de un eje y, en particular, a un aparato y un procedimiento para codificación seccional del eje para su uso en la determinación de uno o más de ángulo de rotación, velocidad de rotación, momentos de flexión y par, especialmente en ejes grandes. Los sistemas convencionales pueden utilizar, por ejemplo, elementos transductores de par magnetizados del tipo descritos en WO 00/57150.
- 10 Las fuentes de energía sostenibles, por ejemplo, los aerogeneradores, están ganando gran popularidad debido al aumento de las demandas de energía y el deseo de reducir el consumo de recursos naturales.
- 15 Un aerogenerador típico comprende una pluralidad de palas de rotor, situadas en una torre alta, para convertir la energía eólica en energía rotacional para impulsar un eje principal. El eje principal está conectado a un generador eléctrico directamente, o a través de un multiplicador, (transmisión). El multiplicador convierte la rotación impulsada por el viento a baja velocidad en una rotación de alta velocidad según sea necesario para impulsar el generador para generar electricidad. El aerogenerador también incluye un componente de soporte estructural, tal como una torre, y un mecanismo para dirigir el rotor.
- 20 El control del aerogenerador tiende a ser complejo, ya que las velocidades del viento fluctúan tanto en intensidad como en dirección. Las cizalladuras de viento horizontales y verticales, las oscilaciones mecánicas y la desalineación de guiñada, junto con la turbulencia natural del viento y el movimiento de la torre, también inducen cargas dinámicas y asimétricas en las palas del rotor. Estas cargas se transfieren al eje de la turbina principal giratoria donde aparecen como fuerzas o momentos de flexión/torsión/par. Específicamente, estas cargas generan grandes pares, momentos flectores, momentos de torsión, fuerzas de tensión y fuerzas de deformación. Para un aerogenerador, el par del eje también puede tener componentes dinámicas inducidas por la corriente que pasa por la red eléctrica y el sistema de control de la turbina. Estas componentes dinámicas también son interesantes desde el punto de vista de diseño, control y fiabilidad.
- 25 Las fuerzas aplicadas por estas condiciones de funcionamiento, a veces denominadas cargas, también aumentan el número de ciclos de fatiga acumulados por el aerogenerador. Tales cargas y ciclos de fatiga pueden provocar fallos prematuros del sistema, ineficiencias operativas, y daños a los componentes del aerogenerador.
- 30 Para garantizar un funcionamiento confiable y eficiente, los sistemas de control del aerogenerador deben medir con precisión las fuerzas y los momentos flectores/de torsión/par que actúan sobre el eje y controlar uno o más parámetros operativos del sistema del aerogenerador, tal como la inclinación de la pala, las revoluciones por segundo y /o ángulo de guiñada, para limitar estas fuerzas. Una medición precisa de la velocidad de rotación del eje y la posición del eje (es decir, un ángulo que forma un punto fijo en el eje con un punto fijo externo al eje) también son necesarias para un funcionamiento adecuado y seguro del aerogenerador. La precisión de estas mediciones debe mantenerse durante un período relativamente largo. El control del aerogenerador también se vuelve más complejo a medida que aumenta el tamaño del aerogenerador y la producción de energía. Además de utilizar estos valores medidos para controlar el aerogenerador, los valores medidos pueden utilizarse en el diseño del aerogenerador.
- 35 Para abordar el diseño y el funcionamiento de cualquier equipo que utilice un eje giratorio, se desea medir cualquier deformación externa inducida por la fuerza en la superficie del eje. Estas mediciones pueden utilizarse para determinar numéricamente la flexión/torsión/par y momentos y otras fuerzas aplicadas sobre el eje.
- 40 Las tecnologías convencionales de control del eje emplean una serie de sensores y/o sistemas diferentes para detectar o medir estas fuerzas y parámetros operativos del eje. Estos sensores incluyen, entre otros, sistemas extensímetros, sistemas de codificador/diente, sistemas de ondas acústicas, sistemas elásticos, sistemas magnetostrictivos y sistemas magnetoelásticos. Cada uno de estos sistemas tiene ciertas características y aplicaciones, así como ventajas e inconvenientes específicos.
- 45 Galgas extensiométricas incorporadas o acopladas al eje proporcionan mediciones locales de tensión del eje. Estas galgas requieren una conexión eléctrica al eje giratorio, es decir, una conexión física (por ejemplo, anillos colectores) o una conexión inalámbrica, y las señales producidas tienen una relación señal /ruido relativamente baja. Las galgas extensiométricas también padecen una baja estabilidad, un ancho de banda limitado y tienden a requerir una calibración frecuente. El limitado rango de temperatura de funcionamiento de las galgas extensiométricas limita su uso en entornos hostiles. Además, las galgas extensiométricas pueden fallar después de un corto período de uso debido a las grandes tensiones aplicadas al eje en aplicaciones con ejes de gran diámetro en aplicaciones de alta potencia. Por lo tanto, los extensímetros rara vez se utilizan en equipos de trenes de potencia comerciales.
- 50
- 55
- 60

5 Un sensor de par de codificador/rueda dentada requiere cierta interacción mecánica con el eje giratorio tal como, por ejemplo, una rueda dentada magnética. Pero el diseño de la rueda dentada tiende a ser costoso y poco práctico para muchas aplicaciones. Este diseño no es práctico para aplicaciones de mayores velocidades, impone problemas de confiabilidad en un entorno hostil y, aunque es estable, carece de alta resolución.

10 Un sistema de ondas acústicas utiliza sensores, tales como sensores de onda acústica de superficie (SAW) y de onda acústica a granel (BAW), montados en el eje para medir la tensión del eje. Para transportar las señales que indican las deformaciones del eje y las fuerzas aplicadas sobre el eje a un detector externo se requieren unos anillos colectores o un sistema inalámbrico.

15 Los sistemas de par elástico miden la torsión del eje midiendo el desplazamiento angular de unos marcadores dispuestos a lo largo de un eje. Este sistema puede no ser lo suficientemente preciso para ejes de gran diámetro y puede tener problemas prácticos de implementación.

20 También se emplean sensores de proximidad para medir los momentos de flexión del eje. Estos sensores requieren una referencia rígida (es decir, una estructura de soporte rígida) y son vulnerables a una desviación de la estructura de soporte y a una desviación del sensor, lo que da lugar a errores en los valores medidos. Dado que el sistema del eje principal es rígido, pequeños errores de desplazamiento en el medido, tales como 0,1 mm, corresponden a errores elevados en el análisis del momento flector, tal como un error de 200 kNm. Estos errores pueden causar un funcionamiento incorrecto del sistema de control del eje.

25 La posición del eje puede determinarse mediante codificadores angulares que emplean rejillas ópticas. El eje se codifica antes de la instalación y las regiones codificadas se detectan para determinar la posición del eje. Pero estos sensores son propensos a contaminación y fallos en entornos sucios.

30 No pueden aplicarse sensores de fuerza de eje magnético, según describe NCT Engineering GmbH. (Erlenhof-Park. Inselkammerstr.10, 82008 Unterhaching, Alemania) y otros, a ejes grandes de manera económica, por ejemplo, en ejes de diámetros superiores a aproximadamente 200 mm, debido a la elevada potencia que se requiere para codificar el eje.

35 Otro enfoque para medir fuerzas aplicadas al eje se basa en el efecto magnetoestrictivo sobre el material del eje ferromagnético o en regiones de material ferromagnético aplicadas o formadas en el eje. Las mediciones magnetoestrictivas se basan en el fenómeno de que las dimensiones de un material varían cuando se magnetiza. Para ciertos materiales, el efecto magnetoestrictivo es muy pequeño.

40 Un sensor de par magnetoestrictivo convencional comprende una bobina principal que genera un campo magnético de alta frecuencia y unas bobinas secundarias que miden el flujo magnético del campo resultante. El flujo total medido de todas las bobinas secundarias indica si hay un par presente. Este enfoque no requiere codificación del eje.

45 Coeficientes magnetoestrictivos típicos, en forma $\Delta l/l$, son del orden de entre 1×10^{-6} y 25×10^{-6} . El uso del efecto magnetoestrictivo directo (es decir, sin codificación del material ferromagnético) para medir el par en ejes grandes de material ferromagnético es costoso, requiere complejos conjuntos de sensores, complejos procedimientos de calibración y típicamente resulta en mediciones con una precisión limitada.

50 Sin embargo, el efecto magnetoestrictivo puede utilizarse ventajosamente con una precisión mejorada y unos costes de instalación reducidos combinando el efecto magnetoestrictivo con un eje codificado magnéticamente o con regiones codificadas magnéticamente aplicadas al eje. El material del eje o las regiones de material se codifican haciendo pasar corriente por el eje o las regiones de material durante la fabricación del eje o después de la instalación del eje. La codificación es permanente cuando se aplica a un material adecuado y cuando se crea por una corriente con una densidad de corriente suficientemente elevada.

55 Al eje se acoplan eléctricamente unos electrodos de codificación para soportar el flujo de corriente desde uno o más electrodos de entrada a través de regiones del eje hasta uno o más electrodos de salida. La corriente induce un campo magnético que crea regiones codificadas magnéticamente polarizadas dentro del eje. Cuando la corriente de codificación y el campo magnético de codificación resultante se aplican a un material ferromagnético, los límites entre los dominios magnéticos varían y los dominios giran. Ambos efectos varían las dimensiones del material a lo largo del eje magnético. Preferiblemente, los electrodos de codificación están dispuestos para crear una pluralidad de regiones magnéticas uniformes en el eje.

60 Por el contrario, uno o más parámetros magnéticos del material varían cuando se somete a una fuerza mecánica o a un momento de flexión/torsión/par. Específicamente, estas fuerzas varían las propiedades del material y, a su vez,

causan un cambio en un componente externo del campo magnético. Estos cambios en el campo magnético pueden ser detectados por sensores magnetoestrictivos, tales como sensores de flujo magnético.

5 Un sensor de par magnetoestrictivo típico emplea codificación total del eje, con la magnetización creada por el flujo de corriente axial a lo largo del eje. La codificación es circunferencialmente uniforme (circunferencialmente uniforme) ya que la codificación magnética requiere la magnetización de toda la sección transversal. Para crear estas regiones magnéticas circunferenciales uniformes, se disponen múltiples electrodos en forma de anillos alrededor del eje y la corriente se aplica simultáneamente a todos los electrodos. La magnetización se crea (es decir, el eje está codificado) dirigiendo corriente para que fluya en una dirección axial a lo largo del eje desde los electrodos de
10 entrada hasta los electrodos de salida.

15 Sin embargo, los ejes de gran diámetro, tales como los ejes de aerogeneradores (y ejes de turbinas de gas), típicamente no son susceptibles de técnicas de codificación magnética convencional tal como se ha descrito anteriormente. Estas técnicas son adecuadas para ejes de diámetro relativamente pequeño, pero, a medida que aumenta el diámetro del eje, aumenta el número de electrodos necesarios para codificar magnéticamente el eje y también aumenta la corriente requerida transportada por cada electrodo. Por ejemplo, puede requerirse una corriente de varios cientos de amperios para cada par de electrodos (comprendiendo un par un electrodo de entrada y uno de salida). Para una detección precisa del par (o la detección de cualquier fuerza ejercida sobre el eje), la codificación debe crear un campo magnético circunferencialmente uniforme; un esfuerzo difícil y costoso para
20 implementar en ejes de gran diámetro. Desgraciadamente, la velocidad de rotación del eje no puede determinarse a partir de un campo magnético circunferencialmente uniforme.

25 Los campos magnéticos no uniformes se deben a la no homogeneidad de las propiedades eléctricas y magnéticas del eje. Además, la corriente se suministra típicamente como impulsos de corriente de forma específica, lo cual requiere complejos circuitos electrónicos para soportar la alta corriente. Por todas estas razones, los esquemas de codificación circunferencialmente uniformes aplicados a ejes de gran diámetro tienden a ser difíciles y muy costosos de implementar.

30 Con referencia a las figuras 1-4 se describen unos ejemplos de codificación y detección magnetoestrictiva de la técnica anterior. Con referencia a la figura 1, un eje 5 comprende un material ferromagnético. Alrededor de una circunferencia del eje se disponen unos electrodos en forma de anillo separados 10 y 15 para codificar una región axial 20 entre los electrodos 10 y 15. Ambos electrodos 10 y 15 están en contacto eléctrico con el eje. La separación de los electrodos tiende a favorecer una densidad de flujo magnético uniforme dentro de la región 20, creando así una región codificada circunferencialmente uniforme. La uniformidad de la densidad de flujo también depende de
35 varios otros factores, incluyendo el diámetro del eje. A lo largo del eje se disponen axialmente pares adicionales de electrodos (no mostrados), tales como los electrodos 10 y 15, para codificar regiones adicionales para detectar fuerzas aplicadas otros segmentos del eje.

40 Durante el proceso de codificación se aplica un impulso de corriente 25 al electrodo 15 para establecer un flujo de corriente 30 a lo largo del eje longitudinal del eje 5 y dentro de la región 20. Después de fluir a lo largo de la región 20, el electrodo 10 recibe la corriente para producir una corriente de salida 35. El flujo de corriente a través de la región codificada 20 induce un campo magnético que alinea los dominios magnéticos. La magnetización permanente de las regiones del eje requiere una alta densidad de corriente dentro de esa región.

45 Todas las técnicas de sensores de campo magnético que emplean magnetización permanente del eje, como las descritas anteriormente, detectan el campo magnético medible externamente causado por la magnetización permanente. Estos sensores de campo también detectan cambios en el campo magnético causados por flexión/torsión/par y otras fuerzas. Estas fuerzas varían la permeabilidad magnética del material, alterando así algún aspecto del campo magnético en el material y también alterando el campo magnético externo. Dependiendo de la
50 geometría del campo inalterado y la naturaleza de las fuerzas aplicadas, las fuerzas pueden variar la dirección del campo o la intensidad del campo (es decir, un cambio en la intensidad del campo o la densidad del flujo) o ambos.

55 Generalmente es común en la técnica referirse a un campo magnético alterado como aquel que variaciones en la intensidad de campo o flujo magnético. Un campo distorsionado típicamente se refiere a cambios sólo en una dirección del campo magnético.

60 Cuando el eje 5 está en funcionamiento, unas bobinas de detección 45 (sólo una mostrada en la figura 2) montadas cerca del eje giratorio 5 detectan el campo magnético y producen una señal representativa de ese campo. Sin tensión o par aplicado, los sensores no detectan ninguna distorsión o alteración del campo magnético. Tales sensores presentan típicamente una característica de direccionalidad, dado que los sensores uniaxiales no pueden discriminar cambios en dirección e intensidad.

Las bobinas de detección 45 comprenden sensores de flujo magnético u otros sensores de campo magnético tales como sensores de bobina, sensores inductivos, o sensores de efecto Hall.

5 Cuando se impone un par sobre el eje 5 o en una región del eje 5, las bobinas de detección 45 detectan el campo magnético alterado que emerge de la región codificada 20. Las bobinas de detección 45 están conectadas típicamente a unos componentes de procesamiento electrónico para analizar y visualizar las distorsiones y alteraciones del campo magnético, y para indicar las fuerzas aplicadas, incluyendo especialmente el par.

10 El sistema de la técnica anterior, tal como se ha descrito anteriormente y se ilustra en las figuras 1 y 2, emplea un flujo de corriente axial para crear una magnetización circunferencialmente uniforme del eje. Esta técnica requiere la magnetización de toda la circunferencia del eje y, por lo tanto, no es práctica para ejes de mayor diámetro, ya que estos ejes requieren una gran corriente de codificación para producir densidades de flujo suficientes para crear regiones magnéticas permanentes y uniformes en el eje. Si bien es técnicamente factible y posible, el requisito de estas grandes corrientes hace que sea costoso lograr una distribución y densidad de corriente uniforme en una dirección circunferencial para ejes de gran diámetro. Por lo tanto, este esquema de codificación se limita típicamente a ejes más pequeños por debajo de aproximadamente 200 mm de diámetro.

15 Para aliviar las preocupaciones asociadas a ejes de gran diámetro y el consiguiente requisito de corrientes elevadas, una técnica conocida utiliza múltiples conexiones eléctricas al eje 5 tal como se muestra en la figura 3. Unos anillos separados 50 y 55 quedan dispuestos cerca del eje 5 y aislados del eje 5, presentando cada anillo 50/55 múltiples conductores eléctricos 60 que están unidos al eje 5. Una corriente de entrada 65 suministrada al anillo 50 pasa a través de los conductores 60 y después axialmente a través de la región 80 y emerge a través del anillo 55. El paso de corriente a través de la región 80 produce múltiples regiones magnetizadas 75 (sólo se muestra una en la figura 3).

20 La compleja disposición de codificación de la figura 3 requiere una pequeña separación entre los anillos 50 y 55 respecto al diámetro del eje. De lo contrario, no puede lograrse una magnetización suficientemente uniforme en una dirección circunferencial. Una mayor separación entre los anillos 50 y 55 aumenta la longitud de la región 80, lo que causa problemas de implementación y costes adicionales en muchas aplicaciones. Además, las corrientes individuales aplicadas a los conductores eléctricos 60 deben tener la misma amplitud, lo que requiere un control preciso y un coste considerable para implementarse en ejes de mayor diámetro.

25 La publicación de solicitud de patente del mismo titular 2009/0301223 (número de solicitud 12/134.689) describe y reivindica todavía otro esquema de codificación para utilizarse con ejes de gran diámetro. Esta publicación de solicitud de patente se incorpora aquí por referencia. La figura 4 representa un eje 205 que tiene regiones o canales codificados, magnéticamente polarizados formados por una estructura de codificación 210. Un material del eje 205 comprende un material ferromagnético o un material ferromagnético adherido al eje 205. Unos elementos conductores alternos 215 y 217 están posicionados axialmente a lo largo de una parte del eje 205 y soportados por una estructura no conductora 212. Los elementos 215 y 217 están dispuestos cerca del eje 205 con un espacio entre cada elemento 215 y 217 y una superficie del eje 205. Los elementos conductores de codificación positiva 215 se alternan con elementos conductores de codificación negativa 217.

30 Un primer extremo de cada elemento conductor 215 está conectado a un terminal positivo de una fuente de codificación o corriente 250 (sólo uno ilustrado en la figura 4) y un segundo extremo está conectado al eje 205 en un electrodo 218 a través de un conductor 242. Un terminal negativo de la fuente de codificación 250 está conectado a un electrodo 247 dispuesto en el eje 205.

35 Un primer extremo de cada elemento conductor 217 está conectado a un terminal negativo de una fuente de codificación o corriente 252 (sólo uno ilustrado en la figura 4) y un segundo extremo está conectado al eje 205 en un electrodo 220 a través de un conductor 243. Un terminal positivo de la fuente de codificación 252 está conectado a un electrodo 248 dispuesto en el eje 205.

40 La corriente eléctrica de cada elemento conductor 215 va a través del eje 205 en una dirección tal como se indica a lo largo de una trayectoria 245 para generar un canal magnéticamente polarizado positivo 260 (sólo uno mostrado en la figura 4) en el eje 205. De manera similar, las señales eléctricas de cada elemento conductor 217 van a través del eje 205 en una dirección tal como se indica a lo largo de una trayectoria 249 para generar un canal magnéticamente polarizado negativo 262 (sólo se muestra uno en la figura 4) en el eje 205. La dirección del flujo de corriente para las trayectorias 245 y 249 es en direcciones opuestas y, por lo tanto, los dominios magnéticos están opuestamente polarizados (positivo o negativo) dentro de los canales magnetizados 260 y 262.

45 Cuando el eje 205 está en funcionamiento, los campos magnéticos producidos por el canal magnéticamente polarizado positivo y negativo 260 y 262 tienen una forma esperada y son detectados por unos sensores (no mostrados en la figura 4). Cuando un par u otra fuerza actúa sobre el eje 205, los campos magnéticos producidos

por los canales 260 y 262 se alteran o se distorsionan. Los sensores detectan estos cambios y responden a los mismos indicando la presencia de una fuerza dentro de las regiones codificadas (es decir, la región que incluye los canales 260 y 262) del eje 205.

5 La técnica descrita con referencia a la figura 4 puede considerarse una forma de codificación seccional magnética, ya que solamente se codifican las regiones (secciones) o canales 260 y 262. Dependiendo de la orientación de las secciones codificadas en el eje, esta técnica puede medir ángulo de rotación, velocidad de rotación y fuerzas aplicadas sobre el eje, incluyendo fuerzas de flexión/torsión/par. Pero esta técnica se limita a medir o detectar estos parámetros sólo en zonas individuales sensibles al par en el eje, es decir, las regiones codificadas. Si el eje se
10 codifica seccionalmente, la medición de par continua sólo es posible montando un sensor de campo magnético en el eje de manera que el sensor gire con el eje. A medida que el sensor gira, éste mide continuamente parámetros de interés. Pero requerir que el sensor gire con el eje añade complejidad al sistema, lo que requiere anillos colectores o sistemas inalámbricos de transmisión de datos y fuentes de alimentación sin cables o baterías.

15 Se han utilizado diversos procesos y sistemas para proporcionar capacidades de medición precisas y confiables para un eje giratorio, algunos de los cuales se han descrito anteriormente. Sin embargo, se necesitan mejoras continuas, especialmente respecto a ejes de mayor diámetro, y se desean mejoras en eficiencia de funcionamiento. La presente invención presenta una técnica nueva y no obvia para codificar seccionalmente el eje y un patrón de regiones codificadas seccionalmente para medir fuerzas aplicadas al eje, especialmente ejes de gran diámetro. El
20 patrón de regiones codificadas también puede permitir determinar simultáneamente un ángulo de rotación y una velocidad de rotación del eje. Las reivindicaciones adjuntas definen diversos aspectos y realizaciones de la presente invención.

25 La presente invención puede entenderse más fácilmente y sus ventajas y usos son más claros al leer la siguiente descripción detallada de varios aspectos y realizaciones de la presente invención junto con las figuras en las cuales:

Las figuras 1-4 ilustran unos sistemas de codificación y detección magnetostrictivos de la técnica anterior para la detección de par en el eje.

30 La figura 5 ilustra un eje que tiene unas pistas magnéticas codificadas en el mismo para determinar el par y otras fuerzas aplicadas sobre el eje.

La figura 6 ilustra zonas magnéticas de una de las pistas magnéticas de la figura 5.

35 La figura 7 ilustra un aparato para formar las zonas magnéticas de la figura 6.

La figura 8 ilustra líneas de campo de un campo magnético próximo a un eje codificado.

40 La figura 9 ilustra dos pistas magnéticas y una forma de onda que indica los campos magnéticos asociados a las pistas magnéticas.

La figura 10 ilustra una pluralidad de pistas magnéticas axiales codificadas en un eje.

45 La figura 11 ilustra una pluralidad de pistas magnéticas codificadas en un eje y formas de onda asociadas a campos magnéticos de las pistas magnéticas.

La figura 12 ilustra bandas codificadas magnéticamente en espiral.

50 La figura 13 ilustra una pluralidad de pistas magnéticas en un eje y un sensor para medir el campo magnético de las pistas magnéticas.

La figura 14 ilustra una forma de onda que indica la amplitud del campo magnético de las pistas magnéticas tal como las detecta el sensor de la figura 13.

55 La figura 15 ilustra un eje con una pluralidad de pistas magnéticas de orientación diferente codificadas sobre el mismo.

La figura 16 indica sensibilidades de pistas magnéticas en un eje respecto a la orientación de una región sensible a la fuerza.

60 Las figuras 17 y 18 ilustran ejes con pistas desplazadas espacialmente codificadas sobre los mismos.

Las figuras 19 y 20 ilustran grupos de varias pistas codificadas magnéticamente.

La figura 21 ilustra un eje y una posición de las pistas codificadas magnéticamente de las figuras 19 y 20 respecto al eje.

5 La figura 22 ilustra un eje y unos sensores montados cercanos al mismo.

De acuerdo con la práctica común, las diversas características descritas no están necesariamente dibujadas a escala, sino que se dibujan para resaltar características específicas relacionadas con las invenciones. Símbolos de referencia similares denotan elementos similares en todas las figuras y el texto.

10 Antes de describir en detalle los procedimientos y aparatos particulares relacionados con la codificación magnética seccional de ejes para medir parámetros operativos del eje y fuerzas aplicadas sobre el eje, debe observarse que la presente invención reside principalmente en una combinación novedosa y no obvia de elementos y etapas de procesos. Para no complicar la descripción con detalles que serán fácilmente evidentes para los expertos en la materia, ciertos elementos y etapas convencionales se han presentado con menor detalle, mientras que los dibujos y la memoria describen con mayor detalle otros elementos y etapas pertinentes para la comprensión de las invenciones.

15 Las diversas realizaciones de la invención pueden detectar uno o más de par, momentos flectores y otras fuerzas aplicadas al eje. Las diversas realizaciones también pueden determinar la posición angular del eje y la velocidad del eje.

20 La precisión de los sistemas de medición magnetoestrictiva puede mejorarse mediante el uso de regiones únicas codificadas magnéticamente creadas en el eje o en un material codificado magnéticamente aplicado al eje. La codificación magnética esencialmente convierte el eje en un componente del sistema de detección y produce un circuito magnético fuerte dentro del eje y componentes del campo magnético externos al eje. La detección de alteraciones o distorsiones en el campo magnético externo indica la presencia de par u otra fuerza en el eje. La detección del campo magnético también puede utilizarse para determinar posición angular del eje, velocidad de rotación del eje.

25 En la figura 5 se representa una región codificada magnéticamente 270 en un eje 271. La región codificada 270 comprende cuatro pistas codificadas magnéticamente o regiones codificadas magnéticamente 272, 274, 276 y 278 dispuestas alrededor de una circunferencia del eje 271 en dos bandas o anillos. Una primera banda o anillo de pistas comprende pistas alternas 272 y 276, y una segunda banda o anillo de pistas comprende pistas alternas 274 y 278. Las pistas 272 y 276 están formadas con una separación o zona muerta 280 entre pistas alternas 272 y 276. Las pistas 274 y 278 están formadas con un espacio o zona muerta 282 entre pistas alternas 274 y 278. Entre las pistas axialmente alineadas 272 y 274 se dispone un espacio 273 y entre las pistas axialmente alineadas 276 y 278 se dispone un espacio 277. Los espacios 273 y 277 definen regiones que son sensibles al par (y sensibles a otras fuerzas que tienen una o más componentes del vector de fuerza que pasan a través de estas regiones) tal como se describe a continuación.

30 Un material típico del eje 271 comprende una aleación de acero estándar, tal como 34CrNiMo8. Otros materiales adecuados para su uso incluyen: 1.2721 50NiCr13, 1.4313X 4CrNi13-4, 1.4542X 5CrNiCuNb16-4 y 30CrNiMo8.

35 Cada una de las pistas 272, 274, 276 y 278 comprende una pluralidad de zonas magnéticamente codificadas A, B, C, D, etc., tal como se ilustra en la pista de ejemplo de la figura 6.

40 Las cuatro pistas o regiones codificadas 272, 274, 276 y 278 y sus zonas magnéticamente codificadas constituyentes están formadas por una matriz de electrodos que comprende cuatro electrodos separados 300, 302, 306 y 308 tal como se ilustra en la figura 7. Los electrodos 300 y 302 están alineados axialmente y los electrodos 306 y 308 están alineados axialmente; los electrodos 300 y 302 (que forman las regiones codificadas 272 y 276) están desplazados circunferencialmente de los electrodos 306 y 308 (que forman las regiones codificadas 274 y 278). Todos los electrodos 300, 302, 304 y 306 están separados una distancia fija y se mueven como una unidad. Este conjunto de electrodos u otro conjunto de electrodos separados y orientados adecuadamente puede utilizarse para codificar zonas/pistas magnéticamente polarizadas de cualquier forma deseada de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención.

45 Los electrodos 300 y 302 están en contacto físico con el eje 271 en respectivos puntos de contacto 300A y 302A. Los electrodos 306 y 308 comprenden, cada uno, tres segmentos: segmentos verticales 306A/308A, segmentos tangenciales 306B/308B y segmentos verticales 306C/308C. Los segmentos verticales 306A/308A no están en contacto con el eje 271; los segmentos tangenciales 306B y 308B no están en contrato con el eje 271; sólo un punto de contacto 306D/308D en un extremo terminal de los segmentos verticales 306C/308C está en contacto con el eje 271 o por lo menos muy cerca del mismo.

Para formar las pistas 272 y 276, es decir, para codificar el eje 271, se suministran impulsos de corriente desde un terminal positivo de una fuente de codificación 309 al electrodo 300, la corriente sale del electrodo 300 en el punto de contacto 300A, pasa a través de una región 271A del eje 271, entra y pasa a través del segmento vertical 306C, pasa a través del segmento tangencial 306B, a través del segmento vertical 306A y a un terminal negativo de la fuente de codificación 309. Este flujo de corriente forma una de las zonas magnéticamente polarizadas o codificadas A, B, C, D, etc. en cada una de las pistas 272 y 276, tal como se ilustra en la figura 5. Una zona se forma por corriente que alinea los dominios magnéticos del material del eje, es decir, magnetizando el material del eje.

Las zonas magnéticamente polarizadas que comprenden las pistas 274 y 278 se forman simultáneamente con la formación de las zonas que comprenden las pistas 272 y 276. Las zonas magnéticamente polarizadas de las pistas 274 y 278 están formadas por impulsos de corriente que pasan desde un terminal positivo de una fuente de corriente de codificación 310 hasta el segmento vertical 308A, a través del segmento tangencial 308B, a través del segmento vertical 308C, a través de una región del eje 271B hasta el punto de contacto 302B, a través del electrodo 302 y hasta un terminal negativo de la fuente de codificación 310. Los impulsos se suministran desde la fuente de codificación 309 a la vez que los impulsos se aplican desde la fuente de codificación 310.

Después de formarse cada zona (por ejemplo, la zona A), los electrodos 300, 302, 306 y 308, que están soportados mecánicamente por una estructura de soporte de matriz y se mueven como una unidad, se escalonan circunferencialmente como una unidad a otra posición y se aplican de nuevo impulsos de corriente. Este proceso crea otra zona codificada magnéticamente, por ejemplo, la zona B, para cada una de las pistas magnéticas 272, 274, 276 y 278. De este modo, la aplicación de una serie de impulsos de corriente y el escalonado circunferencial de los electrodos después de cada impulso de corriente crea las zonas individuales A, B, C, D, etc. Las zonas quedan separadas aproximadamente 0,5 mm. Dado que las zonas magnéticas son ligeramente más grandes que el tamaño del escalón, las zonas magnéticas se funden o se fusionan para formar las pistas magnéticas o regiones codificadas 272, 274, 276 y 278. Las pistas 272, 274, 276 y 278 también se denominan pistas seccionales o regiones seccionales codificadas, ya que cada una abarca una sección del eje 271.

Una dirección de la corriente que pasa a través del eje 271 (es decir, dentro del eje desde un electrodo y fuera del eje en el otro electrodo) determina la polarización magnética (es decir, la dirección de las líneas del campo magnético) de las zonas codificadas, las pistas formadas de esas zonas y la polarización magnética de las áreas circundantes del eje.

La posición de la intensidad del campo magnético positivo tangencial (o axial) máxima se designa mediante un óvalo abierto o claro en la figura 5. La posición de la intensidad del campo magnético negativo tangencial (o axial) máxima se representa mediante un óvalo de color negro. En las diversas realizaciones presentadas, las regiones de máxima intensidad de campo magnético positivo pueden intercambiarse con las regiones de máxima intensidad de campo negativo sin apartarse del alcance de la presente invención. Los términos intensidad campo magnético positivo y negativo reflejan la dirección de las líneas del campo magnético, por ejemplo, intensidad de campo magnético positivo se refiere a líneas de campo que se dirigen hacia la derecha a lo largo del eje 271 e intensidad de campo magnético negativo se refiere a líneas de campo que se dirigen hacia la izquierda a lo largo del eje 271. Sin embargo, esta definición no es necesaria para el funcionamiento adecuado de la invención.

La pista 272 y sus zonas individuales A, B, C, D, etc. se forman donde los impulsos de corriente entran en el eje 271 y la pista 276 y sus zonas constituyentes A, B, C, D, etc. se forman donde los impulsos de corriente salen del eje 271. De manera similar, la región codificada 274 y sus zonas individuales A, B, C, D, etc. se forman donde los impulsos de corriente salen del eje 271 y la pista 278 y sus zonas constituyentes A, B, C, D, etc. se forman donde los impulsos de corriente entran en el eje 271.

En una realización, el conjunto de electrodos 300, 302, 304 y 308 se desplazan aproximadamente 30 mm en un punto intermedio aproximadamente entre 20 y 50 escalones, formando un número similar de zonas codificadas A, B, C, D, etc. Además, una circunferencia del eje determina si los segmentos 306B y 308B son lineales o curvos. Para ejes de mayor diámetro (y, por lo tanto, mayor circunferencia), por ejemplo, un diámetro de aproximadamente 730 mm, es satisfactorio un segmento lineal 306B y 308B de aproximadamente 30 mm de longitud. Pero un eje que tiene un diámetro de aproximadamente 60 mm requiere el uso de segmentos tangencialmente curvados 306B y 308B.

La figura 8 es una vista en sección transversal axial a través del eje 271, una parte de las pistas magnéticamente polarizadas 272 y 274 formadas en el mismo y los dos electrodos alineados axialmente 300 y 302. Por lo tanto, la vista ilustrada en la figura 8 está definida por un plano que pasa a través de las pistas 272 y 274 y el eje geométrico del eje 271. Se representan las pistas 272 y 274 y las líneas de campo magnético 279 que rodean cada una de las pistas. También se incluye una referencia a los polos magnéticos (norte (N) y sur (S)). Los campos magnéticos con las mismas características se repiten en cada pista o región magnéticamente polarizada, es decir, pistas o regiones que tienen una orientación con una región magnéticamente polarizada positiva a la izquierda y una región

negativamente polarizada a la derecha. Tal como saben los expertos en la materia, los campos magnéticos son tridimensionales con sólo dos dimensiones ilustradas en la figura 8.

5 Las pistas 276 y 278 aparecen en otra vista (no ilustrada) desplazadas circunferencialmente del plano de la figura 8. Sin embargo, para la pista 276 (a la izquierda) y la pista 278 (a la derecha) las puntas de flecha direccionales del campo están invertidas a partir de la representación de la figura 8.

10 Los sensores de campo magnético (o un escáner de campo magnético o una matriz de sensores o escáneres) utilizados con la presente invención son "ciegos" para todas las componentes de campo magnético, excepto las componentes en la dirección axial. Por lo tanto, los sensores de campo son más sensibles a las componentes de campo axial o tangencial identificadas por un símbolo de referencia 303 en la figura 8. Ejemplos no limitativos de sensores utilizados con la presente invención pueden incluir sensores de efecto Hall, sensores de campo magnético, bobinas de detección con núcleo de aire, sensores de flujo magnético, sensores anisotrópicos magnetostrictivos, sensores gigantes magneto-resistivos (GMR). Ejemplos adicionales no limitativos de sensores de campo magnético incluyen; magnetómetros de flujo magnético, bobinas de detección, magnetómetros de fibra óptica, magnetómetros de bombeo óptico, SQUIDS, y magnetómetros de precesión nuclear.

20 El procesamiento del campo magnético medido generalmente lo ejecuta un procesador (no mostrado). El procesador está configurado, además, para calcular varios parámetros del eje, en función del campo magnético detectado, tal como velocidad angular, aceleración angular, posición angular, par, momentos flectores, momentos de torsión y otras fuerzas ejercidas sobre el eje. Las realizaciones de la invención no se limitan a ningún procesador particular para realizar las tareas de procesamiento asociadas a la presente invención. El término "procesador", tal como se utiliza aquí, pretende denotar cualquier máquina capaz de realizar los cálculos o cómputos necesarios para realizar las tareas asociadas a la invención. El término también pretende denotar cualquier máquina que sea capaz de aceptar una entrada estructurada y procesar esa entrada de acuerdo con reglas prescritas para producir una salida. Debe observarse que la frase "configurado para" tal como utiliza aquí significa que el procesador está equipado con una combinación de elementos de hardware y software para realizar las tareas de la invención tal como entienden los expertos en la materia.

30 La figura 9 ilustra dos pistas o regiones codificadas magnéticamente polarizadas 272 y 274, por ejemplo, y una forma de onda que representa la densidad de flujo del campo magnético, tal como se ilustra en la parte inferior de la figura 9, asociada a cada una de las pistas 272 y 274. Tal como puede apreciarse, la densidad de flujo se encuentra en el nivel cero al acercarse a la pista 272 desde la izquierda, y aumenta hasta alcanzar un máximo positivo en el medio de la pista 272. La densidad de flujo disminuye al salir de la pista 272, hasta alcanzar un máximo negativo en el medio de la pista 274. La densidad de flujo aumenta al salir de la pista 274 hacia la derecha y vuelve al nivel cero a medida que la densidad de flujo disminuye al aumentar la distancia desde la pista 274. Un signo positivo a la izquierda de la pista 272 y a la derecha de la pista 274 indica que la densidad de flujo está aumentando en esas regiones. El signo negativo entre las dos pistas 272 y 274 indica que la densidad de flujo está disminuyendo en esa región. De este modo, las pistas 272 y 274 (y las pistas 276 y 278 no ilustradas) indican regiones de densidades de flujo de campo magnético máximas, en particular en la dirección axial respecto al eje 271.

45 En la figura 9 (y otras figuras en la presente solicitud) la posición de la fuerza del campo magnético positivo tangencial (o axial) máxima se designa mediante un óvalo abierto o claro. La posición de la máxima intensidad de campo magnético negativo tangencial (o axial) se representa mediante un óvalo de color negro. En las diversas realizaciones presentadas, las regiones de máxima intensidad de campo magnético positivo pueden intercambiarse con las regiones de máxima intensidad de campo negativo sin apartarse del alcance de la presente invención. Tal como se ilustra con referencia a la figura 7, los términos positivo y negativo reflejan la dirección de las líneas de campo magnético, es decir, una intensidad de campo magnético positivo se refiere a líneas de campo que se dirigen hacia la derecha y una intensidad de campo magnético negativo se refiere a líneas de campo que se dirigen hacia la izquierda.

50 Volviendo a la matriz de electrodos de la figura 7, la fuente de corriente de codificación 309 puede generar típicamente impulsos unipolares (ya sean de signo positivo o de signo negativo) de unos pocos de cientos de amperios a unos pocos kiloamperios, con una longitud de impulso de aproximadamente 0,1-100 mseg. En una aplicación de ejemplo típica, la duración del impulso es de aproximadamente 1 ms, con una corriente de aproximadamente 500 A y un diámetro de eje de aproximadamente 730 mm. La profundidad de penetración de corriente y la densidad de corriente en el eje 271 se controla mediante la duración de los impulsos de corriente.

60 Las fuentes de codificación 309 y 310 pueden comprender un banco de condensadores (es decir, descargar un condensador a través de una resistencia), un generador de impulsos o un dispositivo electrónico de potencia que genera las formas de onda de impulsos de corriente unipolares. Debido a que los impulsos de corriente son cortos, éstos se caracterizan por su contenido de alta frecuencia.

En un ejemplo, la distancia axial entre las pistas 272 y 274 y entre las pistas 276 y 278 es de entre unos pocos milímetros y aproximadamente un cm. Las regiones 273 y 277 entre las pistas respectivas 272/274 y 276/278 son sensibles al par aplicado en esa región.

5 La distancia entre los electrodos 300 y 306, que es la misma que la distancia entre los electrodos 302 y 308, determina un número de zonas magnéticamente polarizadas que pueden formarse antes de que las zonas creadas por los electrodos 300 y 302 sean sobrescritas por las zonas creadas por los electrodos 306 y 308. Para evitar esta sobrescritura, después de codificar una pluralidad de zonas magnéticas para cada una de las pistas 272 y 274 que abarcan una distancia aproximadamente igual a la distancia entre los electrodos 300 y 306 (o la distancia entre los electrodos 302 y 308), el conjunto de electrodos debe moverse circunferencialmente la distancia recorrida. Este movimiento evita la sobrescritura de las pistas previamente escritas 276 y 278 cuando la escritura continúa formando pistas adicionales 272 y 274.

15 Por ejemplo, en un ejemplo, los electrodos 300 y 306 (y los electrodos 302 y 308) están separados una distancia igual a aproximadamente la mitad de la circunferencia del eje. Este eje puede codificarse entonces durante una media rotación del eje, es decir, una rotación de 180 grados.

20 Mediante una activación cooperativa del motor paso a paso para mover circunferencialmente (o axialmente) la estructura de soporte del conjunto de electrodos, la rotación del eje 271 y/o el accionamiento multiaxial de la estructura de soporte del conjunto de electrodos, pueden crearse en el eje 271 unos patrones de magnetización arbitrarios dentro de los límites de la geometría del electrodo.

25 Por ejemplo, si el motor paso a paso escalona los pares de electrodos 300/302 y 306/308 en una dirección axial a lo largo del eje 271 sin rotación del eje alrededor de su eje geométrico, se forman unas pistas magnetizadas axiales en el eje 271 tal como se muestra en la figura 10. Las pistas axiales 321 y 324 están formadas por los respectivos electrodos 300 y 302 a medida que los electrodos se escalonan axialmente a lo largo del eje 271. Simultáneamente con la formación de las pistas 321 y 324, las pistas 322 y 323 se forman por los respectivos electrodos 306 y 308. Después de formarse las cuatro pistas axiales 321, 322, 323 y 324, se gira el eje 271 y se forman cuatro pistas axiales más en el eje haciendo pasar nuevamente los electrodos 300, 302, 306 y 308 axialmente a través del eje. Si el eje gira 360 grados, el eje se codifica en toda su circunferencia.

35 Si los pares de electrodos 300/302 y 306/308 se escalonan circunferencialmente para crear las cuatro pistas (es decir, para crear las zonas que forman las cuatro pistas), después de lo cual el eje se gira o la matriz de electrodos se mueve circunferencialmente, pueden formarse cuatro pistas. El proceso puede continuar formando pistas completamente alrededor de la circunferencia del eje 271. Véase la figura 5.

40 En todavía otro ejemplo, el motor paso a paso puede mover la estructura de soporte de la matriz de electrodos a lo largo de cualquiera de sus múltiples ejes mientras el eje 271 se mantiene fijo o el motor paso a paso puede moverse y el eje 271 girar para crear cualquier patrón de pistas magnéticamente polarizadas o codificadas deseado.

45 Si el motor paso a paso se activa y el eje gira después de formarse cada pista magnética, las pistas forman un ángulo respecto al eje de rotación del eje 271. Por lo tanto, las pistas forman un patrón en espiral, tal como se ilustra en las figuras 11 y 12, que comprende unas pistas 326, 327, 328 y 329. Estas pistas pueden formarse mediante el movimiento apropiado de la matriz de cuatro electrodos ilustrada en la figura 7 junto con la rotación del eje 271. Pueden formarse en el eje otras orientaciones de pistas y bandas mediante una apropiada manipulación del conjunto de cuatro electrodos.

50 Las formas de onda por debajo del eje 271 en la figura 11 ilustran los diversos parámetros operativos que pueden determinarse a partir del patrón de pistas codificadas de la figura 11. La posición de los picos positivos y negativos del campo magnético 350A y 350B, respectivamente, según se determina mediante una matriz de sensores de campo magnético 352 fijos (es decir, no giran con el eje 271) indican la posición angular del eje. La velocidad a la que se mueven los picos 350A y 350B indica la velocidad de rotación del eje 271. El campo magnético detectado entre los picos de campo 350A y 350B (es decir, dentro de las regiones 353 en el eje 271) es proporcional al par ejercido dentro de esa región del eje. Una forma de onda 355A indica que no hay par en la región 353; una forma de onda 355B indica la presencia de un par por la divergencia entre la forma de onda sin par 355A y la forma de onda con par 355B. Cuando se aplica un par mecánico a la región del eje 353, la permeabilidad magnética de esa región varía, el campo magnético (flujo) se altera y el sensor magnético 352 detecta el campo magnético alterado.

60 La figura 13 indica la colocación de un sensor de campo magnético 365 respecto a las pistas magnéticamente polarizadas circunferencialmente 272, 274, 276 y 278 del eje 271. El sensor 365 se encuentra dispuesto separado del eje 271 y es sensible a componentes axiales del campo magnético en la región 277. Estas componentes axiales se identifican por el símbolo de referencia 303 en la figura 8. Entre las pistas 272 y 274 (dentro de la región 273) se dispone un sensor 367 y es sensible a componentes del campo axial dentro de la región 273.

Una fuerza en una primera dirección axial con el vector de fuerza que extendiéndose desde la pista magnéticamente polarizada 274 hasta la pista 272 aumenta el campo magnético dentro de la región de separación 273. Una fuerza en una segunda dirección axial opuesta a la primera dirección axial tiene el efecto contrario, disminuyendo la intensidad de campo dentro de la región de separación 273.

Al igual que en el ejemplo ilustrado anteriormente en combinación con la figura 11, las intensidades de campo alteradas detectadas por el sensor de campo magnético 365 se comparan con un campo inalterado (habiéndose adquirido un mapa del campo inalterado antes de la imposición del par) para revelar variaciones en el campo magnético inducidas por un par o una fuerza.

Puede determinarse una medida numérica aproximada del par calibrando en primer lugar el sensor de campo magnético 365 para determinar una relación entre varios campos magnéticos alterados y varios pares aplicados conocidos. Cuando se detecta un par durante el funcionamiento, se determina un valor para el par de acuerdo con una relación monótonica (una función de transferencia) entre el cambio detectado en el campo magnético y el par.

En un ejemplo, se restan señales de los sensores 365 y 367 para eliminar cualquier efecto de modo común, tal como campos magnéticos externos. Dado que las señales relacionadas con la deformación de los sensores 365 y 367 tienen signos contrarios, estas señales sobreviven a la operación de resta.

La figura 14 representa una forma de onda o una traza de señal que representa una componente de un campo magnético medido externamente, tal como una componente de campo magnético de los patrones de pistas de la figura 5 o la figura 11. La traza de la señal puede registrarse moviendo el sensor de campo magnético 365 de la figura 13 en una dirección axial a través de las regiones 272/273/274 de la figura 5 (o alternativamente a través de las regiones 276/277/278 de la figura 5). Alternativamente, la traza de la señal puede registrarse utilizando una matriz de sensores individuales, tal como la matriz de sensores 352 de la figura 11. La traza de la figura 14 incluye una curva 368 (línea continua) que representa una amplitud del campo magnético a través de las regiones detectadas a medida que el sensor se escanea axialmente a través del eje 271 sin par presente durante el escaneo. Un pico positivo 369 representa una región en el eje 271 que tiene la mayor intensidad de campo magnético en una primera dirección axial y un pico negativo 370 representa una región en el eje 271 que tiene una mayor intensidad de campo magnético en una segunda dirección axial, la primera dirección axial opuesta a la primera dirección axial.

Una curva 372 (línea discontinua) representa el campo en las regiones 272/273/274. La curva 372 tiene una diferencia perceptible de la curva 368 en una región sensible al par del eje, tal como las regiones 273 y 277 en la figura 5. Esta región sensible al par se indica mediante un círculo y un carácter de referencia 374 en la figura 14. La diferencia entre las dos formas de onda representa el campo magnético alterado causado por la presencia de una componente de fuerza axial (es decir, horizontal en la orientación del eje de la figura 5), tal como la componente de fuerza axial de un par, en la región del eje 273. Una componente de fuerza de torsión axial que se dirige hacia una primera dirección hace que la curva 372 (que indica la presencia de una fuerza de torsión) caiga a la izquierda de la curva 368 en la región de interés 374; una componente de fuerza de torsión en una segunda dirección opuesta a la primera dirección hace que la curva 354 caiga a la derecha de la curva 346 en la región de interés 358.

Si la orientación de las regiones de codificación se altera desde las regiones orientadas circunferencialmente ilustradas en la figura 5 a regiones orientadas axialmente, tales como una región codificada magnéticamente 400 en la figura 16, la direccionalidad de la detección de fuerza dentro de la región codificada varía en consecuencia. En esta última configuración, si el sensor no se ha reorientado desde su orientación en la figura 13 (es decir, con la orientación de la figura 13 para detectar componentes de fuerza axial), el sensor detecta alteraciones en el campo magnético que tienen una componente en la dirección axial en la región 400C entre las pistas 400A y 400B. Como las pistas 400A y 400B están orientadas axialmente, la presencia de una componente de fuerza axial puede no estar asociada a un par aplicado sobre el eje.

La figura 16 ilustra una fuerza de ejemplo aplicada en una dirección de una punta de flecha 404. Cualquier fuerza aplicada en cualquier dirección en el sistema de coordenadas XY de la figura 16 puede resolverse en una fuerza dirigida por X y una fuerza dirigida por Y. Tal como indica el sistema de coordenadas representado en la figura 16, cuando las regiones magnéticamente polarizadas están orientadas tal como se muestra, el sensor presenta una baja sensibilidad a componentes de fuerza a lo largo del eje Y, y una alta sensibilidad a componentes de fuerza a lo largo del eje X.

Volviendo a la figura 15, ésta ilustra varias orientaciones diferentes de pistas magnéticamente codificadas formadas o aplicadas a un eje 410. La región 400 comprende pistas alternadas magnéticamente polarizadas positivas y negativas 400A, 400B, 400C y 400D posicionadas tal como se muestra. Entre las pistas 400A y 400B se dispone una región sensible al par 403 y entre las pistas 400C y 400D se dispone una región sensible al par 405. Tal como

se muestra, las pistas 400A y 400C están alineadas axialmente y las pistas 400B y 400D están alineadas axialmente en el eje 410.

5 La figura 15 también ilustra unas pistas de ejemplo 418A, 418B, 418C y 418D que comprenden regiones alternadas magnéticamente polarizadas positivas y negativas; las pistas 418A y 418C están alineadas circunferencialmente, al igual que las pistas 418B y 418D. Las regiones 419 y 421 son altamente sensibles a componentes de fuerza axial de acuerdo con el mapa de sensibilidad de direccionalidad de la fuerza de la figura 16.

10 Las pistas 424A, 424B, 424C y 424D forman un ángulo de 135 grados con el eje x positivo de un sistema de coordenadas representado. Las áreas sensibles a la fuerza 425 y 426 están situadas tal como se indica.

Las pistas 427A, 427B, 427C y 427D se establecen en un ángulo de 225 grados desde el eje x, con un área sensible a la fuerza 431 y 432 tal como se indica.

15 También pueden formarse otras pistas en otras orientaciones en el eje 410 mediante una manipulación apropiada de los pares de electrodos 300/302 y 306/308 de la figura 7 y la rotación del eje 410.

20 Las puntas de flecha 440 y 448 en la figura 15 indican direcciones de fuerza de ejemplo inducidas por uno o más momentos de torsión (u otras fuerzas) aplicados al eje 410. Las cargas de tracción, compresión, par y flexión aplicadas al eje 410 son detectadas por correspondientes señales del sensor (o matriz de sensores) de campo magnético que indica el campo magnético detectado como modificado correspondientemente por estas fuerzas. Así, las distintas orientaciones ilustradas de las pistas codificadas permiten la detección de fuerzas aplicadas sobre el eje 410 desde muchas direcciones diferentes.

25 Generalmente, son necesarias dos bandas circunferenciales (por ejemplo, una primera banda que comprende las pistas 418A y 418C y una segunda banda que comprende las pistas 418B y 418D) y dos bandas axiales (por ejemplo, una tercera banda que comprende las pistas 400A y 400C y una cuarta banda que comprende las pistas 400B y 400D) para detectar todas las fuerzas ejercidas sobre el eje 410 en cualquier dirección si la primera y la segunda banda son perpendiculares a la tercera y la cuarta banda.

30 Tres conjuntos de cuatro bandas, los conjuntos separados a intervalos de 120 grados alrededor de la circunferencia del eje, pueden resolver momentos tanto de flexión como de torsión.

35 Las pistas 400A, 400B, 400C y 400D son paralelas a un eje de rotación 411 del eje 410. Estas pistas pueden detectar el par aplicado al eje 410 si una componente del vector de par pasa a través de las regiones 403 o 405 en cualquier dirección que no sea paralela a las regiones magnéticamente polarizadas (y, por lo tanto, no sea paralela al eje de rotación 411). Estas componentes del vector alteran el campo magnético generado por los dominios magnéticos en las regiones 403 y 405 y, por lo tanto, alteran el campo externo medible sobre el eje 410. Además, cualquier componente de par que pasa a través de una parte central de las regiones 403 y 405 (donde "parte central" se define como a medio camino entre regiones paralelas magnéticamente polarizadas) produce la mayor alteración del campo magnético.

45 Los momentos flectores no pueden detectarse con la orientación de las pistas 400A, 400B, 400C y 400D ya que una fuerza ejercida por los momentos flectores es paralela a la dirección de estas pistas magnéticamente polarizadas. Con referencia a la figura 16, tales momentos flectores tienen una componente de fuerza paralela al eje y (y, por lo tanto, paralela a la dirección de las pistas magnéticamente polarizadas) donde las pistas magnéticamente polarizadas tienen la menor sensibilidad a fuerzas.

50 Las pistas 418A, 418B, 418C y 418D son normales al eje de rotación 410 y la referencia a la figura 16 indica que se trata de una orientación óptima para detectar momentos flectores con una componente del eje X.

55 Las pistas 424A, 424B, 424C y 424D y las pistas 427A, 427B, 427C y 427D están óptimamente orientadas para detectar tanto par como fuerzas de flexión. Un par unidireccional a lo largo de un eje 450 altera los dominios magnéticos en las regiones 425 y 426, las cuales tienen una alta sensibilidad a fuerzas a lo largo del eje 450. Este par no altera o altera sólo ligeramente dominios en las regiones 431 y 432 ya que los dominios en esta región tienen una baja sensibilidad a fuerzas a lo largo del eje 450.

60 Un par unidireccional a lo largo de un eje 455 altera el campo magnético en la región 431 y 432 y, por lo tanto, genera una señal correspondiente en el sensor de campo magnético. El par a lo largo del eje 455 no altera el campo magnético producido por los dominios magnéticos en la región 425 y 426. Generalmente, cualquier fuerza a lo largo de un primer eje (ya sea el eje 450 o 455) altera el campo magnético a lo largo del primer eje sin alteración (o sólo ligeramente) en el campo magnético a lo largo de un segundo eje perpendicular al primer eje.

En la figura 17 se ilustra otra pista o patrón de banda codificado. Un motor paso a paso y una matriz de electrodos que tiene cuatro electrodos dispuestos tal como se ilustra en la figura 7 forman unas pistas 500, 502, 504 y 506 en un eje 508. Una región 509 entre las pistas es sensible a fuerzas aplicadas sobre el eje 508 que tiene componentes de fuerza que pasan a través de la región 509. La figura 16 indica las sensibilidades de fuerza direccional de la región 509. Entre las respectivas pistas 500/504 y las pistas 502/506 hay presentes unos espacios 510 y 511. La región 509 sensible a la fuerza también tiene una discontinuidad o un espacio que está alineado con los espacios 510 y 511. Es decir, los espacios 512 están presentes entre las regiones sensibles a la fuerza 509. Cuando uno de los espacios 512 queda frente a un sensor de campo magnético, el sensor no puede detectar el campo magnético y, por lo tanto, no puede detectar fuerzas ejercidas sobre el eje que tienen una componente de fuerza dentro del espacio 512.

Para superar este inconveniente y proporcionar una detección continua de pares y otras fuerzas, se forman unas regiones magnéticamente polarizadas adicionales 500A, 502A, 504A y 506A desplazadas axialmente de las regiones 500, 502, 504 y 506 y desplazadas circunferencialmente aproximadamente en la mitad de la longitud de una pista tal como se ilustra en la figura 17. Por lo tanto, si en el rango de detección del sensor magnético hay presente un espacio 512, el sensor de campo magnético lee una de las regiones sensibles a la fuerza 509A para superar la incapacidad de detectar campos magnéticos dentro de los espacios 512. De manera similar, si en el rango de detección del sensor magnético hay presente un espacio 512A, el sensor magnético lee la región sensible a la fuerza 509 para superar la incapacidad de detectar campos magnéticos dentro del espacio 512A.

Las señales combinadas de campo magnético de las regiones desplazadas 509 y 509A proporcionan una monitorización continua del par u otras fuerzas ejercidas sobre el eje 508.

La figura 18 ilustra un ejemplo en el que las longitudes de las pistas son de casi 180 grados de longitud, es decir, que abarcan la mitad de la circunferencia de un eje 600. Una región positiva magnéticamente polarizada 604 y una región negativa magnéticamente polarizada paralela 608 están formadas o incorporadas en el eje 600. Las pistas 604 y 608 van seguidas circunferencialmente por respectivos espacios 612 y 614 que van seguidos circunferencialmente por regiones magnéticamente polarizadas positivas y negativas 624 y 620. Las regiones 604/608 y las regiones 620/624 se extienden aproximadamente 180 grados alrededor del eje 600.

Se forman unas regiones magnéticamente polarizadas adicionales desplazadas axialmente de las pistas 604, 608, 620 y 624. Estas pistas comprenden pistas positivas magnéticamente polarizadas 634 y 638, y regiones negativamente magnéticamente polarizadas 642 y 650. Unos espacios 650 y 652 entre las respectivas pistas 630/638 y entre las pistas 634/642 quedan separados de los espacios 612 y 614. Este valor de desviación, que es de aproximadamente 90 grados en un ejemplo, proporciona un control continuo (es decir, alrededor de toda la circunferencia) de cualquier componente de fuerza vectorial ejercida sobre el eje 600 (excepto componentes que son paralelas a las pistas 604, 608, 620, 624, 630, 638, 634 y 652 (es decir, componentes circunferenciales). En general, para ejes de gran diámetro, la extensión angular de las pistas será inferior a 180 grados, pero esto requiere codificar pistas adicionales en el eje para formar un anillo cerrado que rodee completamente el eje circunferencialmente.

Se observa que espacios adicionales en las pistas 604/620, 608/624, 630/638 y 634/642 están ocultos a la vista en la figura 18.

El uso de cuatro pistas para abarcar 360 grados (una primera pista positiva y negativa magnéticamente polarizada que abarca 180 grados y una segunda pista positiva y negativa magnéticamente polarizada que abarca 180 grados) tal como se ilustra en la figura 18 es meramente de ejemplo. Las pistas pueden formarse de cualquier longitud arbitraria para abarcar cualquier segmento angular según se desee. Los espacios en las pistas, que delinean una transición de una polaridad a otra polaridad, quedan desplazados para garantizar que pueda determinarse cualquier fuerza aplicada sobre el eje en cualquier región circunferencial del eje.

Para crear las pistas de la figura 18 se requieren dos conjuntos de electrodos formadores de pistas, con uno de estos conjuntos ilustrado en la figura 7. Los dos conjuntos (que comprenden ocho electrodos) están separados axialmente y se activan simultáneamente para crear simultáneamente las cuatro pistas, tal como se describe aquí para un conjunto de cuatro electrodos que crea simultáneamente dos pistas.

En general, cuando está en funcionamiento, un sensor magnético detecta el campo magnético de las pistas codificadas en el eje. En un ejemplo, el sensor es fijo respecto al eje giratorio y está montado de manera fija en una estructura cercana al eje.

Con sólo un sensor montado en un lado del eje, las fuerzas de torsión aplicadas en cualquiera de las regiones sensibles al par de las diversas realizaciones presentadas no pueden discriminarse de los momentos flectores que también aplican una fuerza similar (en dirección) en esa misma región. Además, si se emplea sólo un sensor, el

sistema de detección de fuerza no puede discriminar fuerzas aplicadas de cambios en un campo magnético del entorno.

5 La figura 19 ilustra un grupo de pistas 702, que comprende pistas de polaridad opuestas 706 y 707 alineadas con respectivas pistas 712 y 713. Entre las pistas 706 y 707 se encuentra una región sensible a la fuerza y entre las pistas 712 y 713 se encuentra otra región sensible a la fuerza. Dos sensores, no ilustrados, detectan el campo magnético en cada una de estas regiones. La figura 20 ilustra un grupo de pistas 704, que comprende pistas similares 708, 709, 710 y 711 dispuestas tal como se muestra. Entre las pistas 708 y 709 se encuentra una región sensible a la fuerza y entre las pistas 710 y 711 se encuentra otra región sensible a la fuerza. Dos sensores, no
10 ilustrados, detectan el campo magnético en cada una de estas regiones sensibles a la fuerza.

En un ejemplo, los conjuntos de pistas 702 y 704 están dispuestos en lados opuestos de un eje 724 tal como se ilustra de manera general en la figura 21. En funcionamiento, las señales que representan el campo magnético (es decir, el campo magnético tangencial) entre las pistas 706 y 707, entre las pistas 713 y 712, entre las pistas 708 y 709, y entre las pistas 710 y 711 son generadas por unos sensores de campo magnético. Después, las señales se restan de la siguiente manera: se resta la señal 706/707 de la señal 712/713 para generar una primera señal resultante, y se resta la señal 708/709 de la señal 710/711 para generar una segunda señal resultante. La suma de la primera y la segunda señal resultante representa el par aplicado sobre el eje 724. La diferencia entre la primera y la segunda señal resultante representa los momentos flectores ejercidos sobre el eje 724.
15

Cabe señalar que las señales generadas por el campo magnético entre las pistas 706 y 707 siempre son complementarias a las señales generadas por el campo magnético entre las pistas 712 y 713, dado que un vector de fuerza de tensión pasa a través de regiones sensibles a la fuerza en la misma dirección.
20

En otro ejemplo, las pistas 706/707 están situadas en lados opuestos del eje desde las pistas 712/713. En este ejemplo, las señales de las regiones sensibles a la fuerza tienen el mismo signo para momentos flectores ya que los vectores de tensión son de signo contrario en los dos lados del eje. Las señales tienen el mismo signo para fuerzas de torsión.
25

Idealmente, para obtener las mejores señales representativas del momento de torsión y de flexión, se prefiere restar las dos señales tal como se ha indicado anteriormente, aunque esto no es necesario. Sin embargo, esta resta reduce beneficiosamente los efectos de cualquier señal de modo común y, por lo tanto, proporciona un resultado más preciso. Por ejemplo, los efectos de campo magnético externo se cancelan utilizando este análisis diferencial.
30

Aunque las pistas 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712 y 713 se ilustran como incluidas respecto a un eje de rotación del eje 724 en las figuras 19 y 20, esta orientación no es necesaria.
35

En las figuras 19 y 20 se ilustran pistas magnéticas relativamente cortas. Sin embargo, en otro ejemplo, estas pistas pueden hacerse más largas y pueden abarcar aproximadamente 180 grados de la circunferencia del eje, tal como se ilustra en la figura 18.
40

La figura 22 muestra un eje 803 y dos sensores dispuestos de manera opuesta 805 y 807. Los momentos flectores en un plano que se extiende entre los dos sensores 805 y 807 e incluye el eje geométrico del eje generan una señal en cada sensor, pero las señales son de polaridad opuesta. Por lo tanto, la combinación/suma de las dos señales resta efectivamente las dos señales con un resultado de cero. Para un par, las dos señales de lados opuestos del eje aumentan o disminuyen en magnitud (dependiendo de la dirección del par) y la combinación/suma de las dos señales produce un valor total positivo (o negativo). La señal combinada puede promediarse para determinar el par promedio ejercido sobre el eje. Por lo tanto, se requieren por lo menos dos sensores para discriminar las fuerzas de flexión y par. Tal como saben los expertos en la materia, estos mismos procedimientos se emplean con sensores de galgas extensiométricas.
45
50

Un ejemplo emplea tres sensores fijos, un sensor en cada uno de 0, 120 y 240 grados alrededor de la circunferencia del eje. Preferiblemente, el eje está codificado con tres grupos de pistas, comprendiendo cada grupo cuatro pistas tal como se ilustra en las figuras 19 y 20. Esta realización puede resolver tanto fuerzas de flexión como de torsión.
55

En otro ejemplo, se emplean cuatro sensores y se montan en 0, 90, 120 y 270 y cuatro secciones de pistas, comprendiendo cada sección nuevamente cuatro pistas, tal como se ilustra en las figuras 19 y 20. Este ejemplo simplifica la resolución de las señales en el sistema de coordenadas cartesianas, proporciona una mejor cancelación de cualquier campo magnético externo, y mejora la capacidad para distinguir momentos de flexión y par. En aplicaciones donde los momentos de flexión no pueden ejercerse a lo largo de toda la longitud del eje (por ejemplo, porque los soportes del eje de accionamiento están firmemente anclados), una matriz de campo magnético o escáner es suficiente.
60

Para un ejemplo en que los sensores están montados en el eje y giran con el eje, debe determinarse la orientación del eje respecto al sistema de montaje fijo para transformar las coordenadas X e Y del eje giratorio en los ejes X e Y del sistema fijo.

5 En general, la posición angular de un eje puede determinarse por la posición axial de una de las dos pistas magnéticas que se extienden 180 grados alrededor del eje. En un ejemplo en que se emplea un patrón de pistas en espiral como en la figura 11 y un sensor fijo, la detección de una posición de rotación del eje puede determinarse cuando un pico en el campo magnético (dispuesto en una posición del marcador predeterminada en la pista en espiral) pasa por el sensor de campo magnético.

10 La velocidad de rotación puede determinarse por la velocidad del movimiento circunferencial de distintas características de la pista (por ejemplo, marcadores de campo magnético) o el tiempo entre pases sucesivos de estas características a través del sensor. Utilizando una tercera pista de referencia no inclinada normal al eje geométrico del eje en una dirección circunferencial, también puede determinarse la posición axial del eje para eliminar cualquier defecto causado por el desplazamiento axial del eje. Cada uno de estos parámetros operativos puede determinarse simultáneamente y bajo condiciones de funcionamiento tanto estáticas como dinámicas, es decir, un eje rotativo o un eje no rotativo.

15 La presente invención reemplaza varios instrumentos de control comúnmente aplicados a maquinaria rotativa por un solo instrumento. Dado que varios aspectos de la presente invención no requieren alteraciones mecánicas del eje, la implementación de la invención puede tener un coste relativamente bajo. Además, la presente invención ofrece ciertas ventajas del esquema de codificación magnética seccional, a la vez que proporcionan información sobre la posición del eje y la velocidad del eje.

20 Tal como se ha descrito anteriormente, utilizando dos regiones codificadas magnéticas en espiral con espacios en el patrón codificado de la primera espiral cubierta por un segundo patrón en espiral codificado que está desplazado respecto al primer patrón, puede lograrse una lectura continua del par con dos sensores de campo magnético apuntando a las dos pistas codificadas.

25 Debido al esquema de codificación seccional de ciertos aspectos de la presente invención, las corrientes eléctricas, potencia y tensiones necesarios para el proceso de codificación son independientes del diámetro del eje. Por lo tanto, el procedimiento puede ser adecuado para ejes de diámetro pequeño, por ejemplo, de 60 mm, y ejes de gran diámetro, por ejemplo, un eje de baja velocidad de un aerogenerador con un diámetro de aproximadamente 750 mm.

30 Codificando un patrón muy junto de secciones codificadas axialmente alineadas o inclinadas alrededor del eje, puede codificarse una rueda dentada magnética virtual en el eje, lo que permite medir la velocidad de rotación. Si dos de estas ruedas dentadas magnéticas virtuales se codifican separadas una cierta distancia, la diferencia de fase de las señales adquiridas representa la torsión del eje entre las dos ruedas dentadas, lo cual es representativo del par.

35 Las diversas realizaciones descritas presentan todas las ventajas de los esquemas de codificación magnética seccional de la técnica anterior, pero importantemente permiten una lectura continua del par para ejes de gran diámetro independientemente del diámetro del eje. El esquema continuo permite una lectura continua de par desde CC hasta altas frecuencias. Por el contrario, los esquemas de codificación seccional de la técnica anterior proporcionan una lectura de par continua sólo cuando se monta un sensor en el eje y gira con el eje. Pero esta técnica de la técnica anterior, a diferencia de las mejoras descritas en la presente invención, requiere un sistema de transmisión de datos y de energía inalámbrico sin contacto o un anillo colector. Sin estos esquemas de lectura sin contacto, el sistema de la técnica anterior proporciona una lectura de par cada vez que una sección del eje pasa por el sensor fijo. Este esquema no se considera lectura continua de par y es de uso limitado para sistemas de eje de baja velocidad que se ven afectados por efectos dinámicos de mayor frecuencia.

40 Aunque las regiones magnéticas en el eje se han representado por áreas alargadas en las figuras de la presente solicitud, de hecho, puede formarse una región magnética de forma arbitraria dentro de los límites del diseño del electrodo y las leyes de la física de acuerdo con la presente invención. La forma de la región depende de la forma del conjunto de electrodos, del movimiento de rotación del eje o del conjunto de electrodos entre el flujo de impulsos de corriente que codifican el eje, y otros factores que afectan a la magnetización del material del eje.

45 Si bien las diversas realizaciones de la invención se han descrito en lo que actualmente se considera una realización preferida, muchas variaciones y modificaciones serán evidentes para los expertos en la materia. Por consiguiente, se pretende que las invenciones no se limiten a las realizaciones ilustrativas específicas, sino que se interpreten dentro del alcance completo de las reivindicaciones adjuntas.

50

Aunque se ha descrito principalmente con referencia al uso en aerogeneradores, la técnica de codificación y regiones codificadas de aspectos de la presente invención también pueden emplearse con ejes que se emplean en máquinas rotativas grandes, tales como turbinas de energía eléctrica, generadores de energía eléctrica, turbo máquinas, grandes motores eléctricos, compresores, mecanismos de accionamiento de transporte, mecanismos de accionamiento de embarcaciones marinas, etc.

5

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para codificación de un eje (271), de acuerdo con la reivindicación 6, que comprende:

- 5 (a) suministrar corriente a una primera posición en el eje (271) a través de un primer electrodo (300) y extraer corriente de una segunda posición en el eje (271) a través de un segundo electrodo (302), pasando la corriente a través del eje (271) entre el primer y el segundo electrodo (300, 302) formando zonas polarizadas magnéticamente de primera y segunda polaridad en la respectiva primera y segunda posición (A, B), estando el primer y el segundo electrodo (300, 302) separados circunferencialmente respecto al eje (271); caracterizado por el hecho de:
- 10 (b) suministrar corriente a una tercera posición en el eje (271) a través de un tercer electrodo (306) y extraer corriente de una cuarta posición en el eje (271) a través de un cuarto electrodo (308) pasando la corriente a través del eje (271) entre el tercer y el cuarto electrodo (306, 308) formando zonas polarizadas magnéticamente de primera y segunda polaridad en la respectiva tercera y cuarta posición (C, D), en el que el tercer y el cuarto electrodo (306, 308) están separados circunferencialmente respecto al eje (271), en el que la etapa de suministrar corriente a la primera posición (A) se ejecuta simultáneamente con la etapa de suministrar corriente a la tercera posición (C);
- 15 (c) en el que el primer electrodo (300) está separado axialmente del cuarto electrodo (308) y el segundo electrodo (302) está separado axialmente del tercer electrodo (306);
- 20 (d) mover el primer, segundo, tercer y cuarto electrodo (300, 302, 304, 306) simultáneamente a lo largo del eje (271) para formar zonas polarizadas magnéticamente adicionales, en el que la primera y la segunda región codificada magnéticamente (272, 274) están formadas en el eje (271) mediante la fusión de respectivas primera y segunda zona magnéticamente polarizada adyacentes, en el que la tercera y cuarta región codificada magnéticamente (276, 278) están formadas en el eje (271) mediante la fusión de respectivas primera y segunda zona magnéticamente polarizada adyacentes; y
- 25 (e) cuando la primera, segunda, tercera y cuarta región codificada magnéticamente (272, 274, 276, 278) alcanzan una longitud deseada, volver a colocar el primer, segundo, tercer y cuarto electrodo (300, 302, 304, 306) en el eje (271) y repetir las etapas (a), (b), (c) y (d) hasta que se forme una pluralidad de la primera, segunda, tercera y cuarta región codificadas magnéticamente (272, 274, 276, 278) en el eje (271).

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que cada uno del segundo y tercer electrodo (302, 306) comprende un primer segmento vertical (306A) que recibe corriente de acuerdo con respectivas etapas (a) y (b), estando cada uno de los primeros segmentos verticales conectados a un primer extremo de un segmento tangencial (306B), no estando en contacto con el eje ni los primeros segmentos verticales ni los segmentos tangenciales, comprendiendo cada uno del segundo y tercer electrodo (302, 306), además, un segundo segmento vertical (308A) que tiene un primer extremo conectado a un segundo extremo del segmento tangencial y un segundo extremo próximo al eje (271).

3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, caracterizado por el hecho de que la corriente comprende impulsos de corriente de entre aproximadamente 100 amperios y 6 kiloamperios con una longitud de impulso de entre aproximadamente 0,1 y 100 milisegundos, en el que los impulsos de corriente se suministran a la primera posición (A) simultáneamente con los impulsos de corriente suministrados a la tercera posición (C).

4. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que una primera distancia entre el primer y el segundo electrodo (300, 302) determina un número de zonas polarizadas magnéticamente entre el primer y el segundo electrodo, y una segunda distancia entre el tercer y el cuarto electrodo (304, 306) determina un número de zonas polarizadas magnéticamente entre el tercer y el cuarto electrodo, en el que la primera y la segunda distancia son aproximadamente iguales.

5. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que la etapa de volver a colocar el primer (300), el segundo (302), el tercer (306) y el cuarto (308) electrodo comprende por lo menos uno de mover axialmente el primer, el segundo, el tercer y el cuarto electrodo para formar una primera, una segunda, una tercera y una cuarta región axiales codificadas magnéticamente, y mover circunferencialmente el primer, segundo, tercer y cuarto electrodo para formar regiones circunferenciales codificadas magnéticamente.

6. Eje codificado magnéticamente (271), que comprende:
 un primer grupo (702) de regiones codificadas magnéticamente que comprende una primera, una segunda, una tercera y una cuarta región codificadas magnéticamente (272, 274, 276, 278), presentando la primera y la cuarta región codificada magnéticamente (272, 278) una primera polaridad magnética y presentando la segunda y la tercera región codificada magnéticamente (274, 276) una segunda polaridad magnética, definiendo la primera y la tercera región codificada magnéticamente (272, 276) una primera banda separada axialmente de una segunda banda que comprende la segunda y la cuarta región codificada magnéticamente (274, 278); caracterizado por:

- 5 un segundo grupo (704) de regiones codificadas magnéticamente que comprende una primera, una segunda, una tercera y una cuarta región codificada magnéticamente (272, 274, 276, 278), presentando la primera y la cuarta región codificada magnéticamente (272, 278) la primera polaridad magnética y presentando la segunda y la tercera región codificada magnéticamente (274, 276) la segunda polaridad magnética, definiendo la primera y la tercera región codificada magnéticamente (272, 276) una tercera banda separada axialmente de una cuarta banda que comprende la segunda y la cuarta región codificada magnéticamente (272);
- 10 un tercer grupo de regiones codificadas magnéticamente que comprende una primera, una segunda, una tercera y una cuarta región codificada magnéticamente (272, 274, 276, 278), presentando la primera y la cuarta región codificada magnéticamente (272, 278) la primera polaridad magnética y presentando la segunda y la tercera región codificada magnéticamente (274, 276) la segunda polaridad magnética, definiendo la primera y la tercera región codificada magnéticamente (272, 276) una quinta banda separada axialmente de una sexta banda que comprende la segunda y la cuarta región codificada magnéticamente (274, 278);
- 15 el primer, el segundo y el tercer grupo separados 120 grados alrededor de una circunferencia del eje (271); y en el que los campos magnéticos que rodean el primer, el segundo y el tercer grupo indican la presencia de fuerzas de flexión y fuerzas de torsión en el eje (271).
7. Eje codificado magnéticamente (271) de acuerdo con la reivindicación 6, caracterizado por el hecho de que una región sensible a la fuerza (509) entre la tercera y la cuarta banda es sensible a componentes de la fuerza que pasan a través de las mismas, alterando las componentes de la fuerza el campo magnético asociado a las mismas.
- 20 8. Eje codificado magnéticamente (271) de acuerdo con la reivindicación 6 o la reivindicación 7, caracterizado por el hecho de que la primera y la segunda banda están inclinadas un ángulo respecto a un eje geométrico (450) del eje (271) y la tercera y la cuarta banda son perpendiculares al eje geométrico (450) del eje (271) permitiendo de este modo determinar la velocidad del eje (271) y el par aplicado al eje (271).
- 25 9. Eje codificado magnéticamente (271) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, caracterizado por el hecho de que la primera banda define primeras zonas muertas (280) entre cada una de la primera y la segunda región codificada magnéticamente (272, 274) alineadas con segundas zonas muertas (282) entre cada una de la primera y la segunda región codificada magnéticamente (274) en la segunda banda, en el que cada una de la primera y la segunda zona muerta (280, 282) está alineada axialmente con una región sensible a la fuerza (509) entre la tercera y la cuarta banda; y
- 30 en el que la tercera banda define terceras zonas muertas entre cada una de la primera y la segunda región codificada magnéticamente (272, 274) alineadas axialmente con cuartas zonas muertas entre cada una de la segunda y primera región codificada magnéticamente (272, 274) en la cuarta banda, en el que cada una de la tercera y cuarta zona muerta está alineada axialmente con la región sensible a la fuerza (509) entre la primera y la segunda banda.
- 35 10. Eje codificado magnéticamente (271) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, en el que la primera y la segunda banda están dispuestas en una primera posición axial en el eje (271) y la tercera y la cuarta banda están dispuestas en una segunda posición axial en el eje (271), indicando una diferencia de fase entre el campo magnético de la región sensible a la fuerza (509) entre la primera y la segunda banda y el campo magnético de la región sensible a la fuerza (509) entre la tercera y la cuarta banda un par aplicado al eje (271) entre la primera y la segunda región (272).
- 40 11. Eje codificado magnéticamente (271) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 10, caracterizado por el hecho de que las componentes de la fuerza comprenden una o más fuerzas de torsión, momentos flectores, fuerzas de tensión y fuerzas de deformación.
- 45 12. Eje codificado magnéticamente (271) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 11, caracterizado por el hecho de que el eje (217) está dispuesto en un aerogenerador y accionado por palas de rotor del aerogenerador en comunicación mecánica con el eje (271).
- 50 13. Eje codificado magnéticamente (271) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 12, caracterizado por el hecho de que el eje (271) está dispuesto en una turbina eléctrica o en un generador de energía eléctrica.
- 55

FIG. 1
(Estado de la técnica)

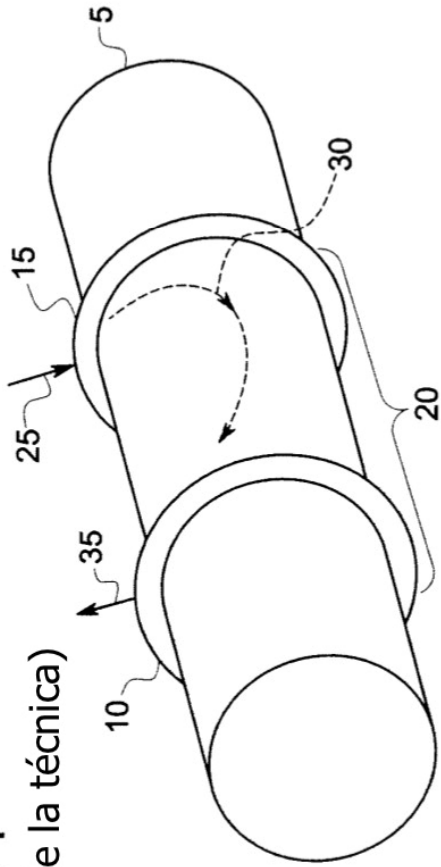


FIG. 2
(Estado de la técnica)

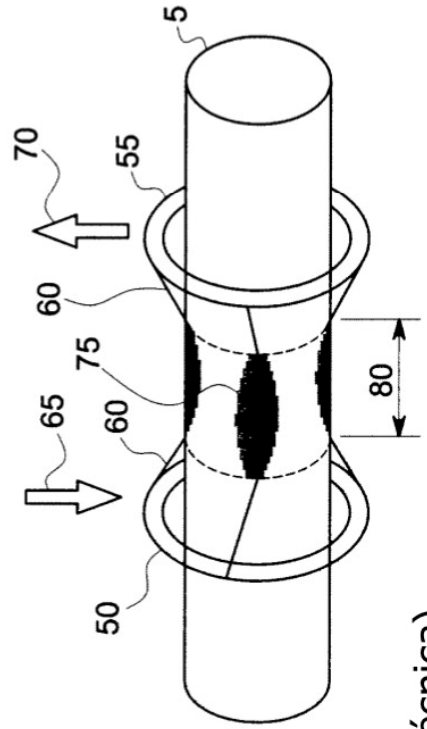
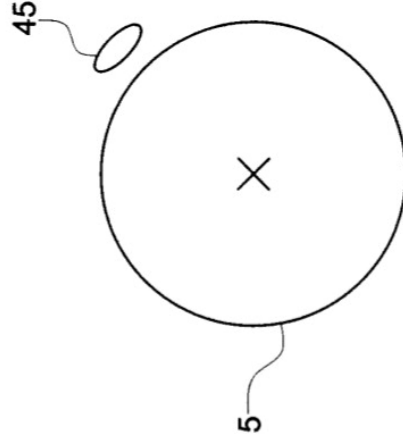


FIG. 3
(Estado de la técnica)

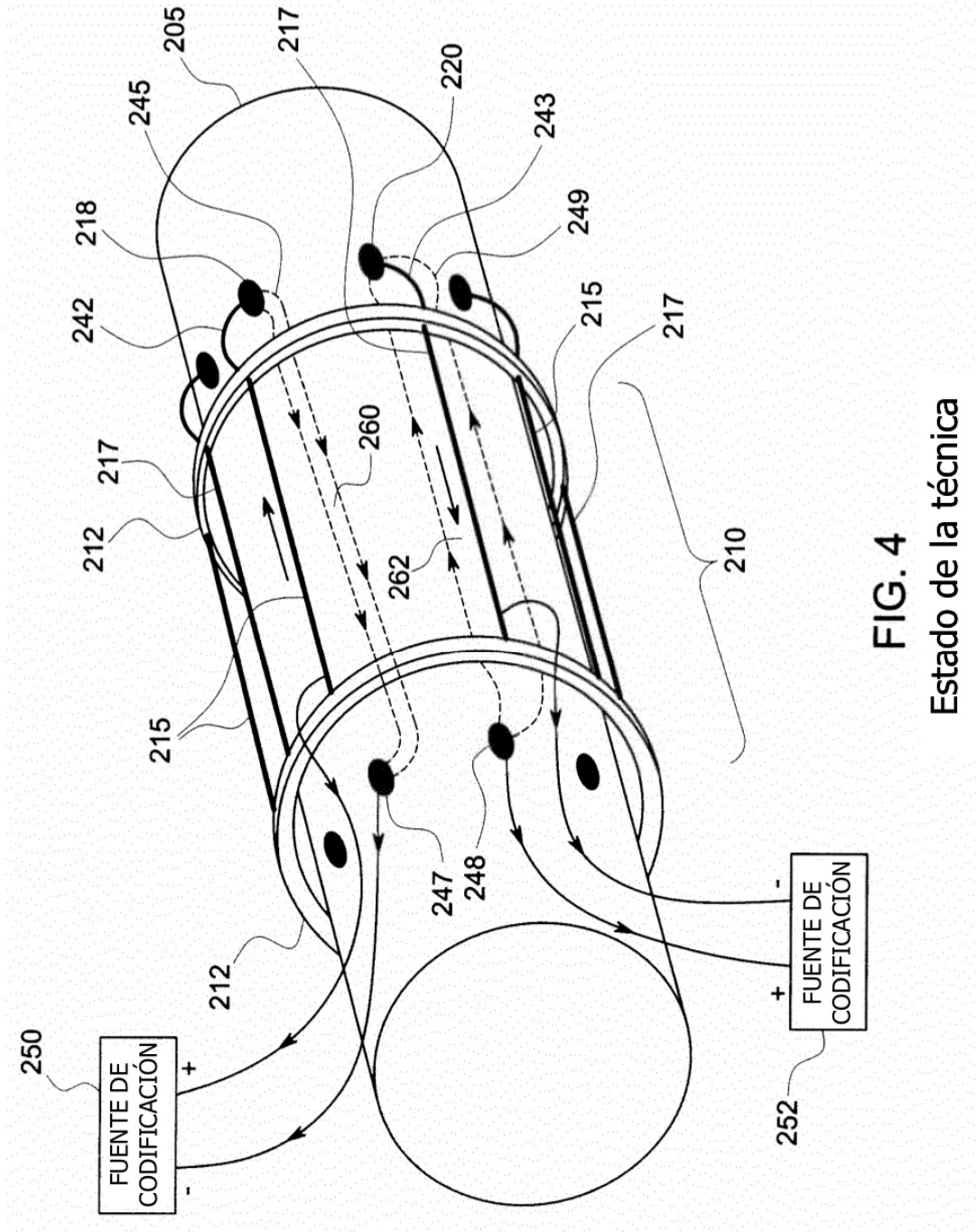


FIG. 4
Estado de la técnica

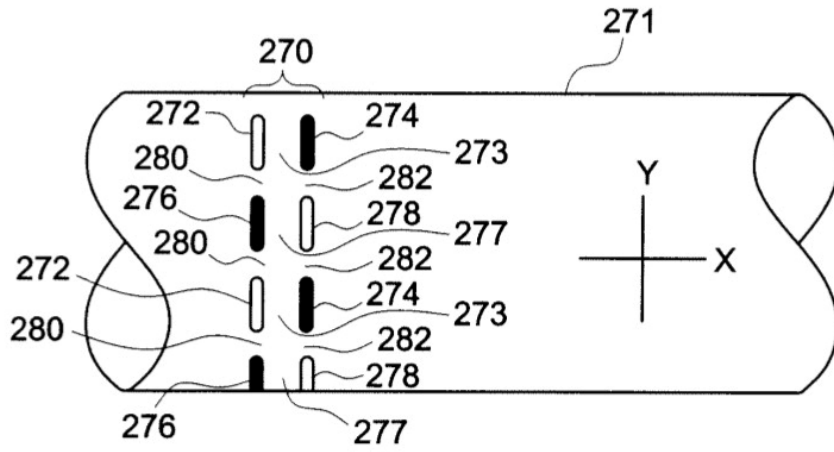


FIG. 5

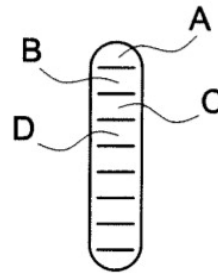


FIG. 6

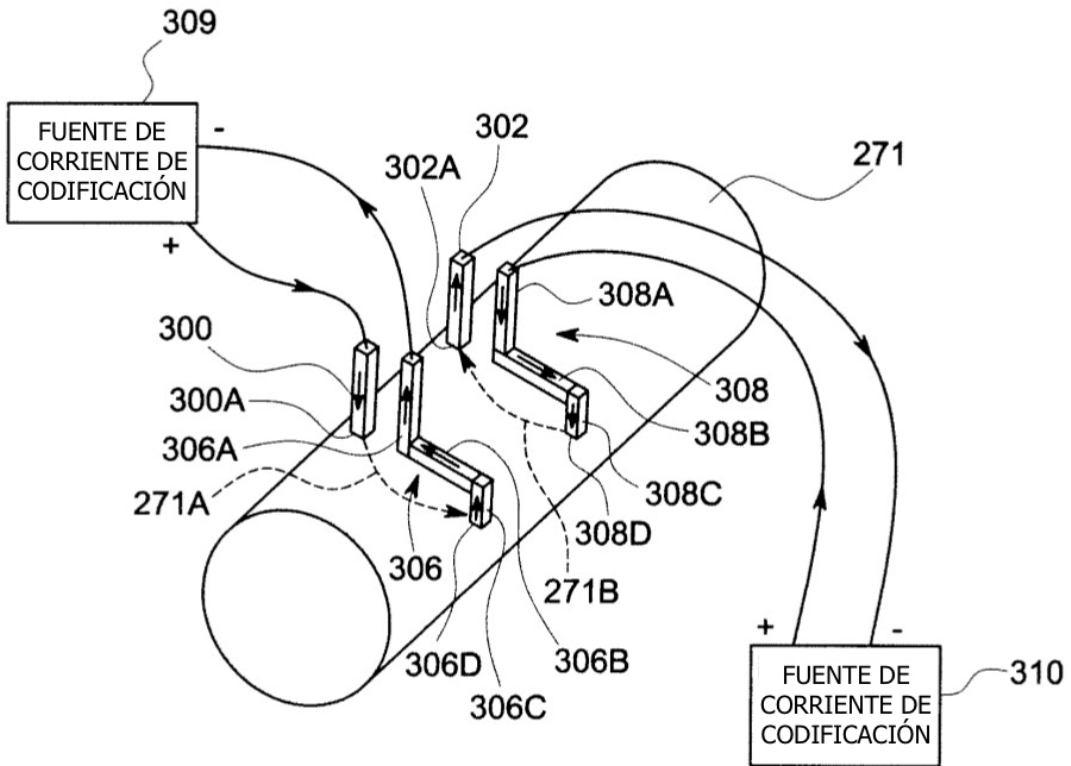


FIG. 7

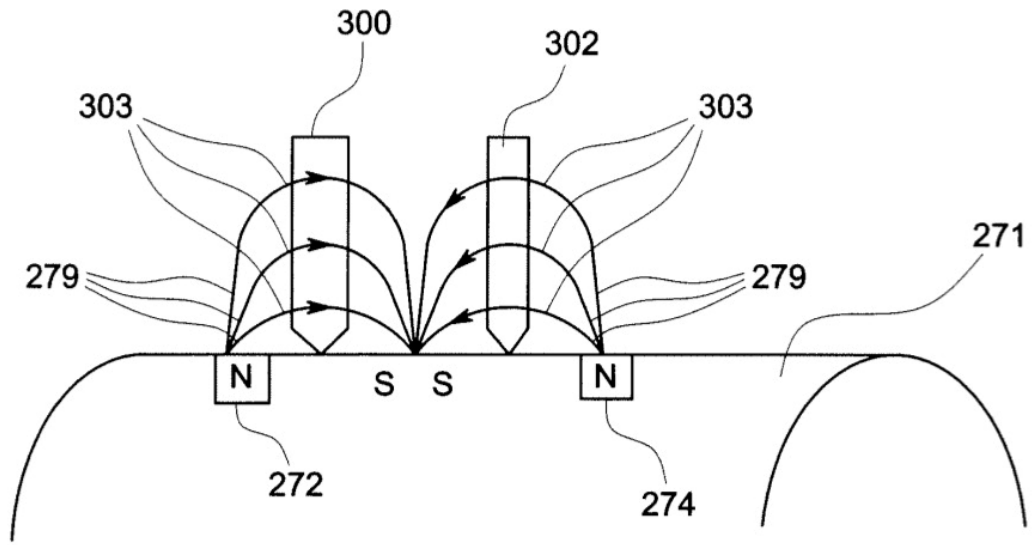


FIG. 8

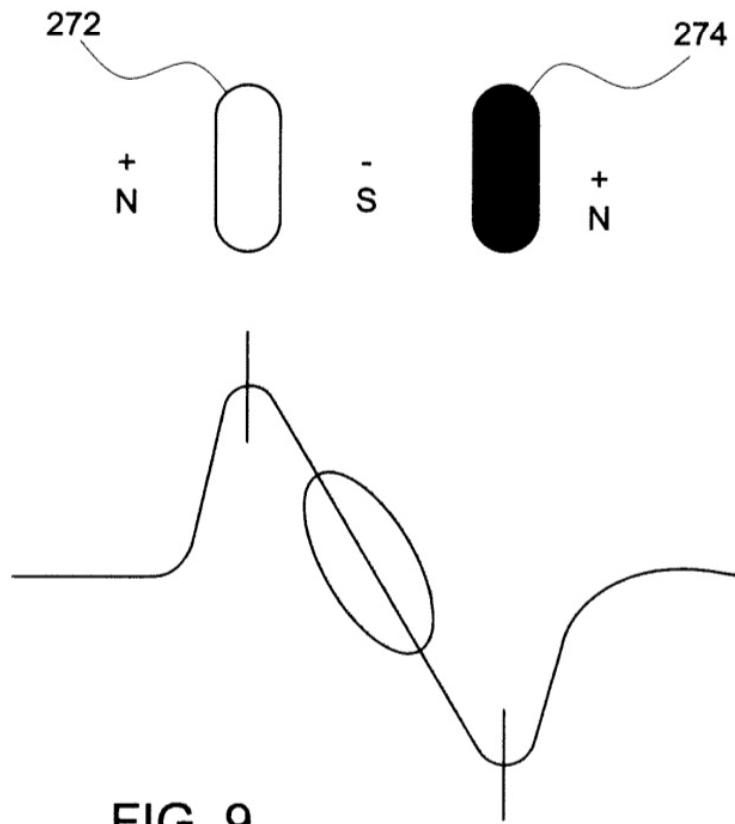


FIG. 9

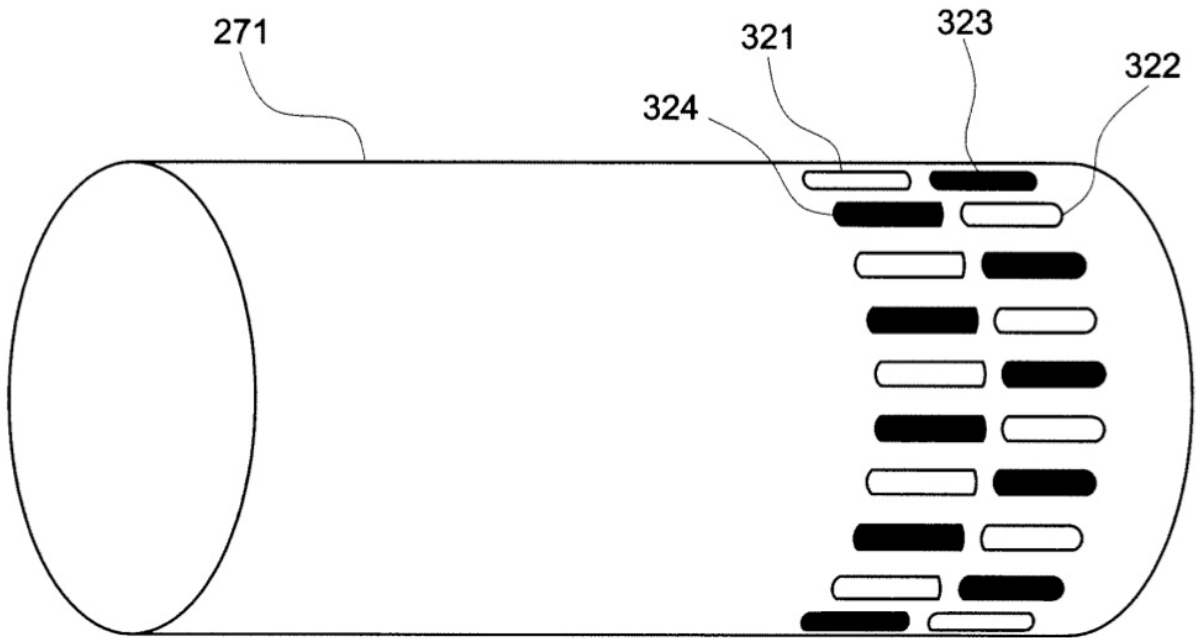


FIG. 10

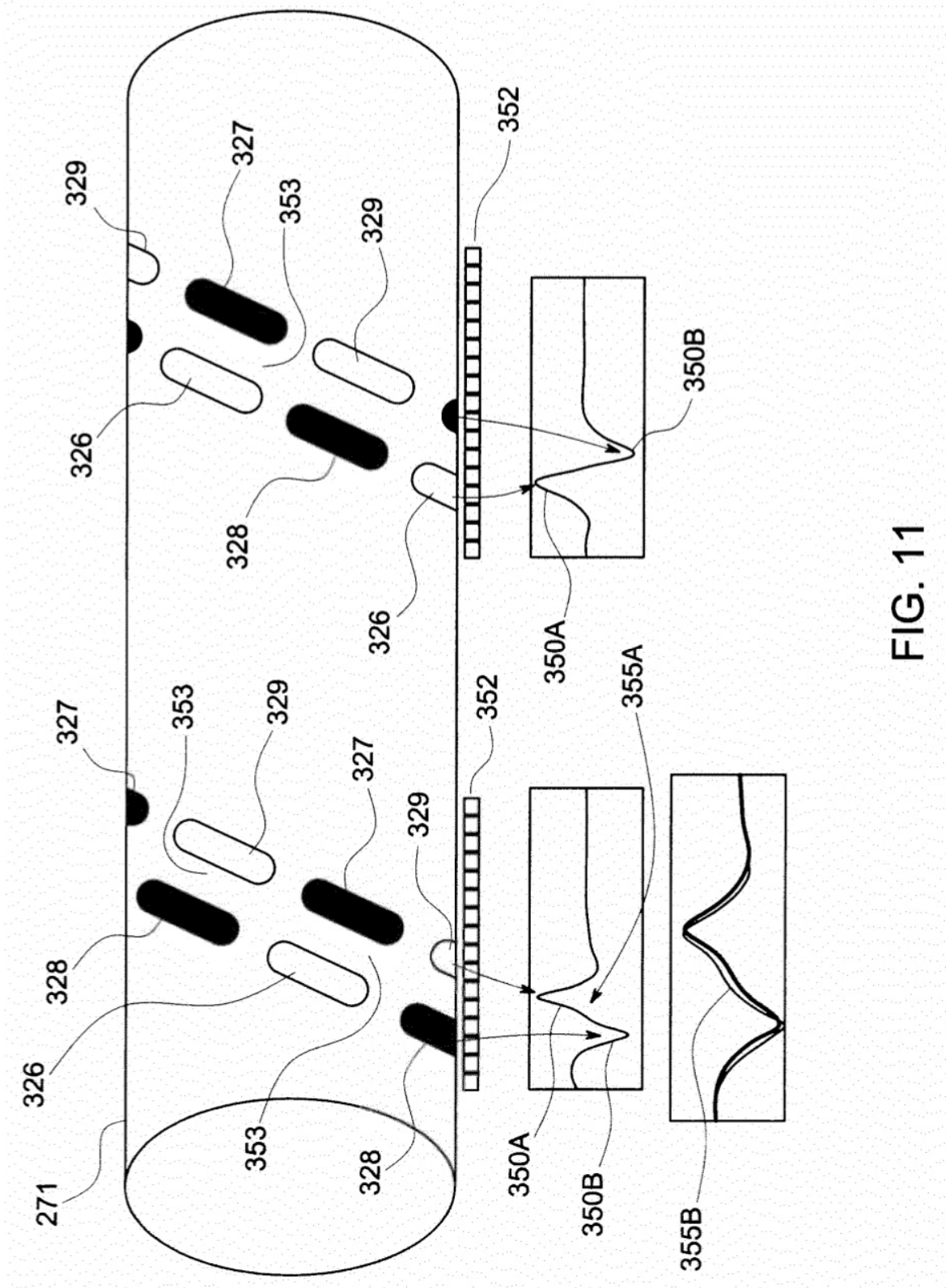


FIG. 11

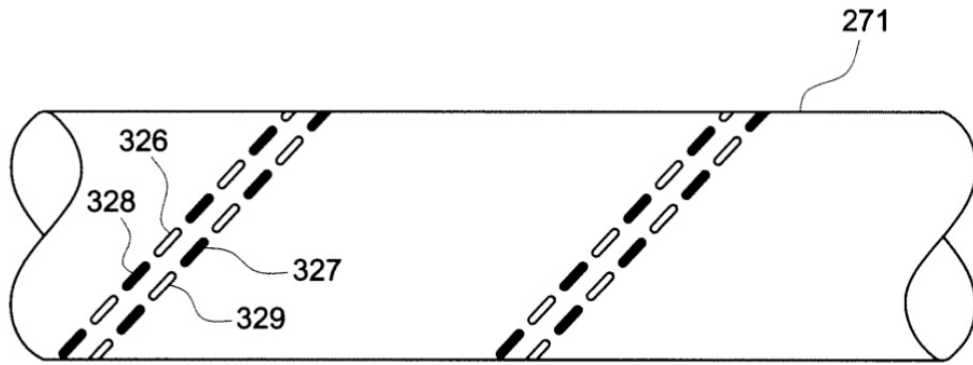


FIG. 12

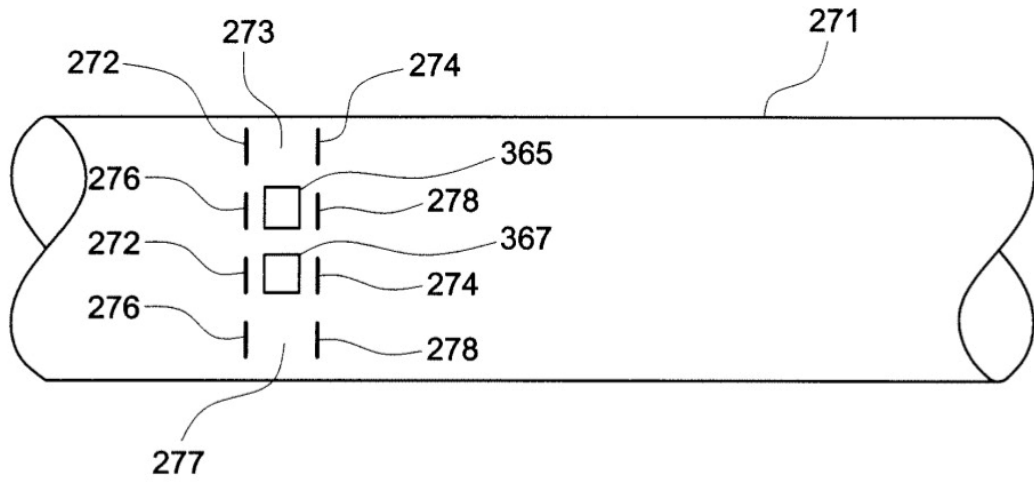


FIG. 13

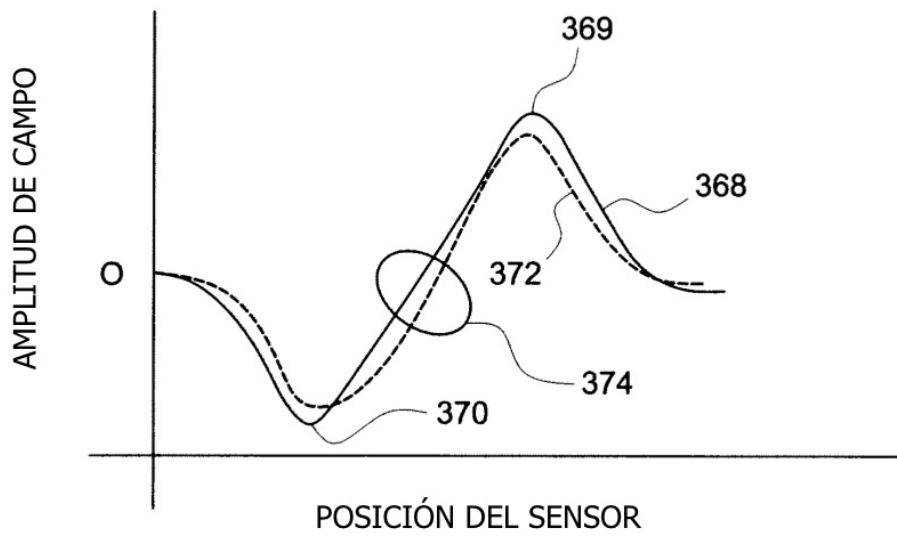


FIG. 14

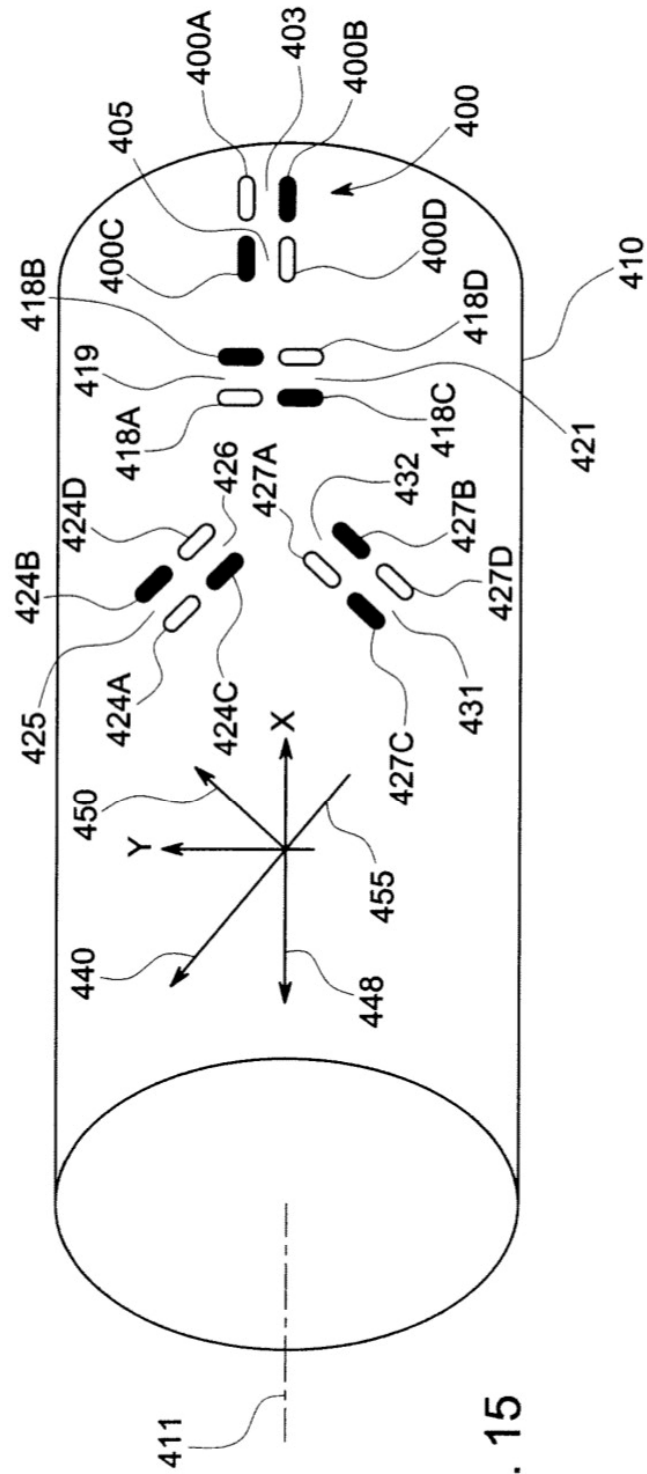


FIG. 15

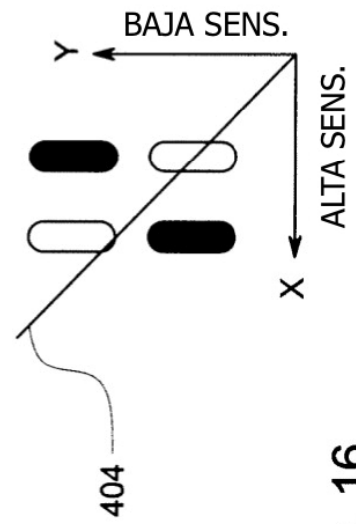


FIG. 16

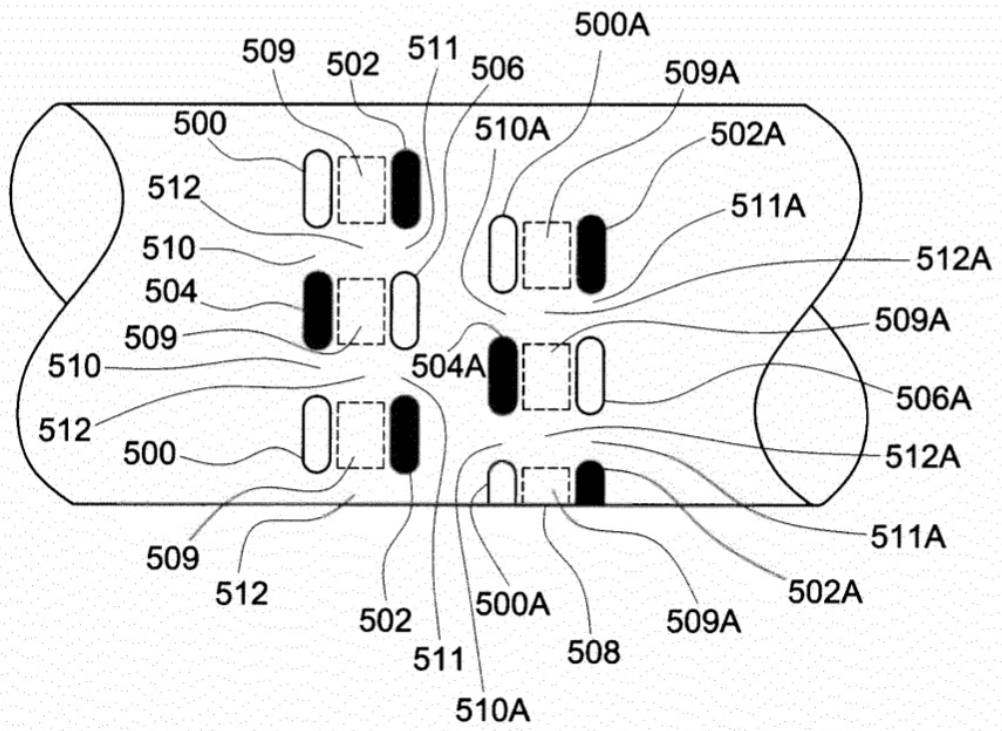


FIG. 17

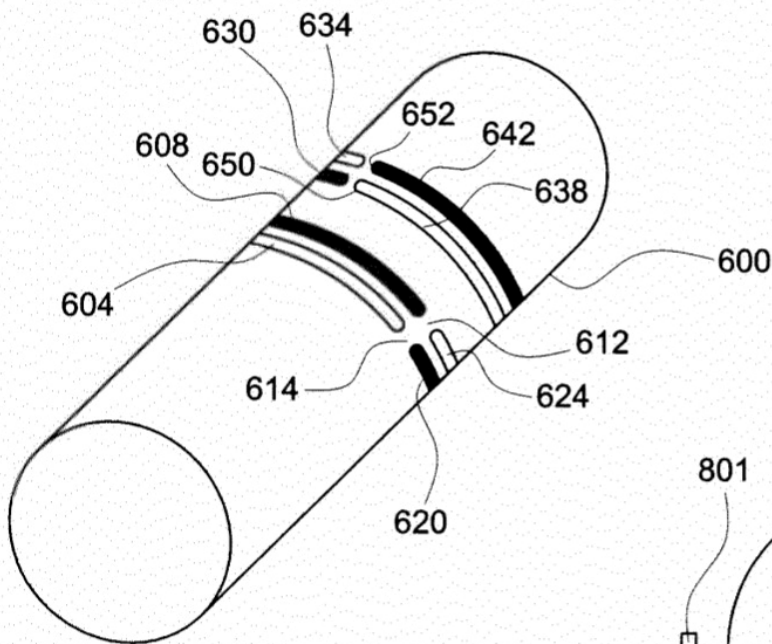


FIG. 18

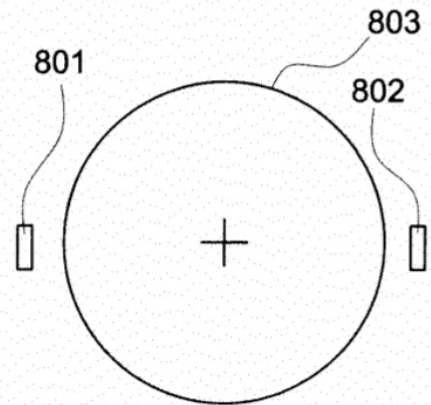


FIG. 22

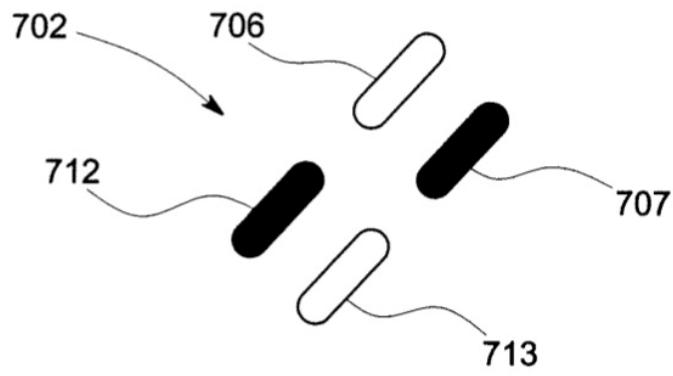


FIG. 19

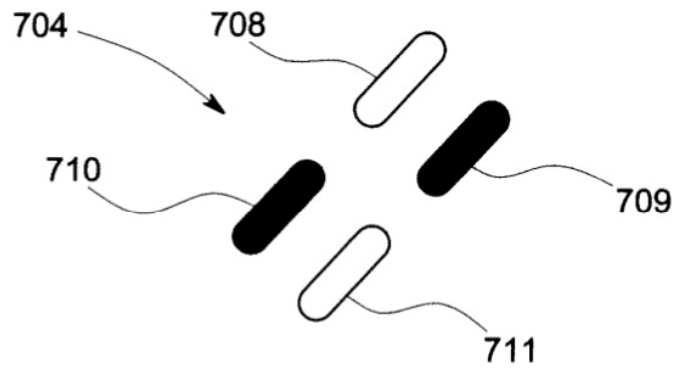


FIG. 20

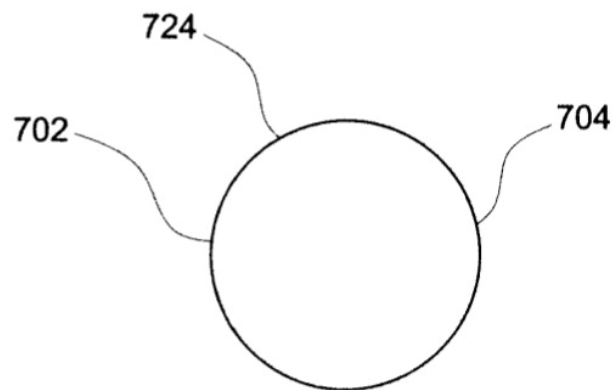


FIG. 21

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

5 *Esta lista de referencias citadas por el solicitante es únicamente para la comodidad del lector. No forma parte del documento de la patente europea. A pesar del cuidado tenido en la recopilación de las referencias, no se pueden excluir errores u omisiones y la EPO niega toda responsabilidad en este sentido.*

Documentos de patentes citados en la descripción

- 10 • WO 0057150 A [0001] • WO 12134689 A [0035]
• WO 20090301223 A [0035]