

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 597 779**

51 Int. Cl.:

**G06K 7/08** (2006.01)

**G01R 33/10** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.04.2014** **E 14164069 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.07.2016** **EP 2930649**

54 Título: **Dispositivos y métodos para determinar un campo magnético**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**23.01.2017**

73 Titular/es:

**MAGCAM NV (100.0%)**  
**Romeinse Straat 18**  
**3001 Heverlee, BE**

72 Inventor/es:

**VERVAEKE, KOEN y**  
**PHILIPS, LIEVEN**

74 Agente/Representante:

**LINAGE GONZÁLEZ, Rafael**

**ES 2 597 779 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**

Dispositivos y métodos para determinar un campo magnético

**5 Campo técnico**

La presente descripción se refiere a dispositivos y métodos para determinar un campo magnético de un imán.

**Técnica antecedente**

10 La rápida y precisa inspección de calidad de imanes permanentes es cada vez más importante en el desarrollo y la  
 producción de muchos productos tecnológicos, tales como sensores de posición, actuadores y motores eléctricos,  
 altavoces y micrófonos, dispositivos médicos, electrónica del automóvil, etc. La calidad del producto final recibe la  
 15 influencia a menudo directamente y depende en gran medida de la calidad de los imanes permanentes en estos  
 productos. Lo que es más, teniendo en cuenta la volatilidad del precio de los materiales raros de tierra, que son  
 críticos para hacer imanes permanentes, para que los desarrolladores de fuerza y los fabricantes utilicen estos  
 materiales preciosos de una manera eficiente, reduciendo al mínimo la cantidad de material de imán perdido, en  
 otras palabras, para que obtengan el máximo rendimiento de la menor cantidad de material de imán, es necesario  
 20 que cada imán se ajuste a unas exigencias de calidad estrictas. También desde el punto de vista económico, el  
 control de calidad de imanes permanentes está creciendo en importancia.

Se conoce un sistema de medición magnética, también referido como cámara de campo magnético, que es una  
 tecnología avanzada de inspección magnética para todo tipo de imanes permanentes, incluyendo los imanes de  
 polos múltiples y uniaxiales en diversas aplicaciones. La tecnología de la cámara de campo magnético se basa en el  
 25 mapeo de la distribución del campo magnético de un imán utilizando una pluralidad de sensores de campo  
 magnético.

En la solicitud de patente europea EP 1720026, se describe un ejemplo de una cámara tal de campo magnético,  
 también llamada módulo de cámara magnética.

30 En la solicitud de patente europea EP 2508906, se describe una disposición para la caracterización de sistemas  
 magnéticos en base a un conjunto inicializado de parámetros de entrada del sistema magnético, comprendiendo la  
 disposición:

35 - medios para medir la distribución del campo magnético, típicamente realizado como un módulo de cámara  
 magnética, y

- medios para determinar la distribución de campo magnético óptima esperada del sistema magnético.

40 Los dispositivos de cámara magnética existentes son capaces de medir la componente fuera de plano o componente  
 z de un campo magnético, con respecto al plano definido por la superficie principal de la cámara.

En la práctica, sin embargo, existe una necesidad industrial para la mejora de los dispositivos y métodos para medir  
 los campos magnéticos, que también proporcionan información sobre las componentes X e Y del campo magnético.

45 En HWANG J y otros, "The application of a differential-type Hall sensors array to the nondestructive testing of  
 express train wheels", NDT & E INTERNATIONAL, BUTTERWORTH-HEINEMANN, OXFORD, GB, vol. 42, nº 1, 1  
 de enero de 2009 (01-01-2009), páginas 34-41, se da a conocer un nuevo sistema de análisis no destructivo capaz  
 de detectar una grieta con alta velocidad y alta resolución espacial para la inspección de pequeñas grietas en ruedas  
 50 de tren expreso, y se propone una cámara de tipo de escaneado magnética, que utiliza dos matrices de sensor de  
 Hall linealmente integradas en una oblea, y un pequeño magnetizador de tipo horquilla.

En Ji Seong Hwang y otros, "Modeling of a scan type magnetic camera image using the improved dipole model",  
 JOURNAL OF MECHANICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, vol. 20, nº 10, 1 de octubre de 2006 (1-10-2006),  
 55 páginas 1691-1701, se propone una cámara magnética del tipo de escaneado para mejorar la resolución espacial  
 limitada debida al tamaño de un sensor magnético empaquetado.

En el documento US 2012/209546 A1, se describe un método para caracterizar imanes, que se basa en la obtención  
 de propiedades cuantitativas del sistema magnético mediante la combinación de datos de mediciones del campo  
 60 magnético y de datos de simulación o de modelado teóricos.

En el documento US 2007/046287 A1, se da a conocer una solución para proporcionar imágenes de campo local  
 con alta resolución espacial, de tiempo y de campo mediante el uso de una estructura de sensores de efecto de Hall  
 que pueden ser leídos de forma individual.

**65 Sumario de la divulgación**

Es un objeto de la presente descripción proporcionar un método y unos dispositivos asociados para determinar una distribución de campo magnético vectorial en un área predeterminada, por ejemplo a lo largo de la superficie principal de un imán, tal como se reivindica en la reivindicación 1 y las reivindicaciones 14 respectivamente.

5 Un objeto adicional es proporcionar un programa informático asociado.

En un primer aspecto de la presente invención, se describe un método para la determinación de un campo magnético vectorial en un área de dos dimensiones predeterminada, comprendiendo el método:

10 - la determinación de datos de distribución que comprenden valores de una primera de tres componentes de un campo magnético a lo largo de una primera dirección, para un área predeterminada de dos dimensiones definida en una superficie predeterminada, estando la superficie predeterminada definida por una segunda dirección y una tercera dirección, donde la primera, segunda y tercera direcciones constituyen un conjunto ortogonal de ejes, estando los datos de distribución determinados preferiblemente por los puntos de una rejilla de dos dimensiones en el área predeterminada, por ejemplo por medio de una cámara de campo magnético;

15 - la determinación de los datos de distribución que comprenden valores de la segunda y la tercera componentes del campo magnético en la segunda y la tercera direcciones, respectivamente, para el área predeterminada definida en la superficie predeterminada, preferiblemente en los puntos de la rejilla de dos dimensiones; donde el determinar una distribución de la segunda y la tercera componentes se basa en hacer uso de las relaciones físicas intrínsecas entre las componentes primera, segunda y tercera de la distribución del campo magnético.

20 Una cámara de campo magnético puede, por ejemplo, comprender una estructura o matriz de sensores de Hall, o puede ser un sistema magneto-óptico, o puede comprender una estructura de otros sensores de campo magnético, tales como sensores magneto-resistivos, o puede comprender un único sensor de campo magnético que se escanea en el espacio.

30 Es una ventaja del método anterior que, sólo midiendo una primera componente de un campo magnético vectorial, las otras dos componentes del campo magnético también se puedan determinar sin medir el campo magnético en posiciones diferentes a lo largo de dicha primera dirección, o sin tener que cambiar las posiciones relativas de campo magnético (por ejemplo, de un imán) y la cámara de campo magnético.

35 Preferiblemente, el área predeterminada tiene una superficie que es menor de  $1\text{m}^2$ . Más preferiblemente, dicha área predeterminada tiene una superficie que es menor de  $100\text{cm}^2$ . Preferiblemente, la rejilla de dos dimensiones en la que se determina la distribución de datos tiene una distancia entre sus puntos de menos de  $2\text{mm}$  (o  $2^\circ$ ) en la segunda y tercera direcciones. Más preferiblemente dicha separación es inferior a  $0,2\text{mm}$  (o  $0,2^\circ$ ) en dichas direcciones, estando determinadas la unidad de "mm" o "°" por la unidad del eje correspondiente en el sistema de coordenadas utilizado.

40 La primera, segunda y tercera direcciones pueden constituir, por ejemplo, un sistema de eje ortogonal con coordenadas cartesianas (X, Y, Z). En tal sistema de referencia, un campo magnético vectorial está representado por un conjunto de componentes ortogonales ( $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$ ). La primera lata componente, por ejemplo, corresponde a la componente Z de un campo magnético  $B_z$ , que es el componente de plano de un campo vectorial con respecto a un plano definido por los ejes X e Y del sistema de coordenadas. Los ejes X e Y del sistema de coordenadas definen un plano que puede corresponder a una superficie de medición, por ejemplo una superficie superior de un sensor de campo magnético de una cámara de campo magnético.

50 Alternativamente, la primera, segunda y tercera direcciones pueden constituir, por ejemplo, un sistema de eje ortogonal con coordenadas cilíndricas (R, e, Z). En tal sistema de referencia, un campo magnético vectorial está representado por un conjunto de componentes ortogonales ( $B_r$ ,  $B_e$ ,  $B_z$ ). La primera componente puede, por ejemplo, corresponderse con la componente R de un campo magnético  $B_r$ , que es el componente radial de un campo vectorial con respecto a un eje del cilindro definido por el eje Z del sistema de coordenadas. Los E y Z ejes del sistema de coordenadas definen, para un determinado valor R, una superficie de cilindro que puede corresponder a la superficie de medición de una matriz unidimensional de sensores de campo magnético, que miden la componente radial del campo magnético (es decir, el componente lo largo de dicho eje R), y que se escanea mientras que el cilindro está rotando. Alternativamente, la primera, segunda y tercera direcciones pueden constituir, por ejemplo, un sistema de eje ortogonal con coordenadas esféricas (R, e,  $\varphi$ ). En tal sistema de referencia, un campo magnético vectorial está representado por un conjunto de componentes ortogonales ( $B_r$ ,  $B_e$ ,  $B_\varphi$ ). La primera componente puede, por ejemplo, corresponderse con la componente R de un campo magnético  $B_r$ , que es la componente radial de un campo vectorial con respecto a un punto definido por el centro del sistema esférico de coordenadas. Los ejes e y  $\varphi$  del sistema de coordenadas definen una superficie esférica que puede corresponder a la superficie de medición de una estructura doblada unidimensional de sensores de campo magnético, que miden la componente radial del campo magnético (es decir, la componente lo largo de dicho eje R). Los sensores pueden, por ello, estar dispuestos, por ejemplo, en un medio círculo que a continuación se hace rotar alrededor de dicho punto central, describiendo por ello una superficie esférica, en la que resulta una rejilla de puntos de medición.

De acuerdo con realizaciones preferidas, el campo magnético vectorial es un campo que debe ser caracterizado por un dispositivo de cámara magnética. Por ejemplo, el campo magnético vectorial puede ser el campo generado por un imán permanente, un conjunto de imanes permanentes, un electroimán, o cualquier otro objeto que actúa como una fuente de campo magnético, las cualidades del cual tienen que ser medidos. El dispositivo de cámara magnética puede ser, por ejemplo, un dispositivo de cámara basado en una matriz de sensores de Hall, o un dispositivo de cámara magnética del tipo magneto-óptico, o puede estar basado en una matriz de otros sensores de campo magnético, tales como sensores magneto-resistivos o bobinas de captación. Estas realizaciones son especialmente beneficiosas cuando los datos de distribución van a caracterizarse en un sistema de coordenadas cartesianas.

De acuerdo con realizaciones preferidas, el campo magnético vectorial es un campo que debe estar caracterizado por una estructura unidimensional de sensores de campo magnético, tales como sensores de Hall, sensores magneto-resistivos, o bobinas de captación, que se escanea mecánicamente en una dirección con el fin de obtener una distribución bidimensional del campo magnético. Por ello, la dirección de escaneo podría ser en una dirección cartesiana (X, Y o Z) o en un eje en un sistema de coordenadas cilíndrico (R, e o Z), por ejemplo, al rotar relativamente la estructura de sensores y de la fuente de campo magnético que se va a medir, o puede estar en un sistema de coordenadas esférico. Por ejemplo, el campo magnético vectorial puede ser el campo generado por un imán permanente, un conjunto de imanes permanentes, un electroimán, o cualquier otro objeto que actúa como una fuente de campo magnético, las cualidades del cual tienen que ser medidas. Estas realizaciones son especialmente beneficiosas cuando los datos de distribución necesitan ser caracterizados en un sistema cartesiano o de coordenadas cilíndricas.

De acuerdo con realizaciones preferidas, el campo magnético vectorial es un campo que necesita estar caracterizado por un sensor de campo magnético único, tal como un sensor de Hall, un sensor magneto-resistivo, o una bobina de captación, que se escanea mecánicamente en dos direcciones con el fin de obtener una distribución bidimensional del campo magnético. Por ello, la dirección de escaneo podría ser en una dirección cartesiana (X, Y o Z) o en un eje en un sistema de coordenadas cilíndrico (R, e o Z), por ejemplo, rotando relativamente el sensor y la fuente de campo magnético que se va a medir, o puede estar en un sistema de coordenadas esféricas. Por ejemplo, el campo magnético vectorial puede ser el campo generado por un imán permanente, un conjunto de imanes permanentes, un electroimán, o cualquier otro objeto que actúa como una fuente de campo magnético, las cualidades del cual tienen que ser medidas. Estas realizaciones son especialmente beneficiosas cuando los datos de distribución tienen que ser caracterizados en un sistema cartesiano de coordenadas cilíndricas.

De acuerdo con realizaciones preferidas, el método comprende adicionalmente:

- generar datos adicionales de distribución de la primera componente, comprendiendo, los datos de distribución adicionales, valores esperados para la primera componente del campo magnético en una área de extensión, el área de extensión adyacente al área predeterminada, por ejemplo, rodeando a dicha área predeterminada; y

- la determinación de datos de distribución que comprenden valores de la segunda y la tercera componentes de dicho campo magnético en la segunda y la tercera direcciones, respectivamente, para un conjunto extendido de datos de distribución, comprendiendo, el conjunto extendido de datos de distribución, los datos de distribución y los datos de distribución adicionales.

El área predeterminada puede, por ejemplo, corresponder a un área sensible de un dispositivo de cámara magnética, por ejemplo el área sensible total.

Es una ventaja adicional de este tipo de realizaciones, que las componentes segunda y tercera del campo magnético vectorial se puedan determinar de forma más precisa que si no se generarían datos de distribución adicionales. De hecho, mediante la generación de los datos de distribución adicionales y la aplicación de, por ejemplo, una transformada de Fourier al conjunto extendido de datos de distribución, los resultados de la operación de transformada de Fourier, manipulaciones basadas en relaciones implícitas físicas entre las componentes primera, segunda y tercera de la distribución de campo y una transformada de Fourier inversa, y, de este modo, la determinación de las componentes segunda y tercera del campo magnético vectorial, se corresponde mejor a los valores reales de las componentes segunda y tercera.

De acuerdo con realizaciones preferidas, la determinación de datos de distribución que comprende valores de una primera componente de un campo magnético a lo largo de una primera dirección, para un área predeterminada definida en una superficie predeterminada, comprende medir valores de medición de la primera componente por medio de una cámara magnética.

De acuerdo con realizaciones preferidas, la determinación de datos de distribución que comprende valores de una primera componente de un campo magnético a lo largo de una primera dirección, para un área predeterminada definida en una superficie predeterminada, comprende medir los valores de medición de la primera componente por medio de una estructura bidimensional de sensores de campo magnético, cuya posición es accionada mecánicamente con el fin de escanear dicha área predeterminada.

- 5 De acuerdo con realizaciones preferidas, determinar datos de distribución que comprenden valores de una primera componente de un campo magnético a lo largo de una primera dirección, para un área predeterminada definida en una superficie predeterminada, comprende la medición de los valores de medición de la primera componente por medio de un sensor de campo magnético cuya posición se acciona mecánicamente con el fin de escanear dicha área predeterminada.
- 10 De acuerdo con realizaciones preferidas, la determinación de datos de distribución que comprende valores de una primera componente de un campo magnético a lo largo de una primera dirección, para un área predeterminada definida en una superficie predeterminada, comprende adicionalmente modelar los valores de medición de la primera componente en base a un modelo predeterminado y/o a unos parámetros de entrada predeterminados. Esto puede, por ejemplo ser realizado con los métodos y dispositivos descritos en el documento EP 2508906.
- 15 De acuerdo con realizaciones preferidas, los datos de distribución de la primera componente comprenden valores distintos de cero para la primera componente del campo magnético correspondiente a un emplazamiento en un borde exterior del área predeterminada.
- 20 De acuerdo con realizaciones preferidas, el método comprende la determinación de los valores de la primera componente comprendidos en los datos de distribución adicionales mediante simulación de la primera componente en el área predeterminada y la extrapolación de la simulación dentro del área de extensión.
- 25 De acuerdo con realizaciones preferidas, los valores de la primera componente comprendidos en los datos de distribución adicionales se establecen para ir decreciendo monótonamente a cero en el área de extensión cuando se mueven desde un límite exterior del área predeterminada, lejos del área predeterminada, hacia un borde exterior del área de extensión.
- 30 De acuerdo con realizaciones preferidas, el método comprende la determinación de los valores de la primera componente, comprendidos en los datos de distribución adicionales al:
- 35 - extrapolar o establecer valores de los primeros datos de distribución de la primera componente correspondientes al límite exterior del área predeterminada en el área de extensión;
- aplicar una función de ventana en los valores extrapolados para el área de extensión, evolucionando dicha función de ventana del valor 1 al valor 0 sobre el área de extensión al alejarnos del área predeterminada.
- 40 De acuerdo con realizaciones preferidas, el método comprende la determinación de los valores de la primera componente comprendidos en los datos de distribución adicionales mediante la generación de valores de la primera componente que están disminuyendo exponencialmente en el área de extensión cuando al alejarnos del área predeterminada, a partir del límite exterior del área predeterminada, de manera que los valores de la primera componente se atenúan hacia cero, es decir que son cercanos a cero o cero, en el límite exterior del área de extensión.
- 45 Opcionalmente, además, se puede aplicar una función de ventana en los valores exponencialmente decrecientes para el área de extensión, evolucionando la función de ventana del valor 1 al valor 0 sobre el área de extensión al alejarnos del área predeterminada.
- 50 De acuerdo con realizaciones preferidas, el método comprende la determinación de los valores de la primera componente comprendidos en los datos de distribución adicionales al:
- 55 - generar una representación de nervadura polinómica o racional de los valores de la primera componente del campo magnético para al menos una parte, al menos una parte exterior o periférica, o la totalidad del área predeterminada;
- extrapolar la representación de nervadura polinómica o racional para valores extrapolados de la primera componente del campo magnético en el área de extensión;
- 60 - opcionalmente, aplicar una función de ventana en los valores extrapolados para el área de extensión, evolucionando la función de ventana del valor 1 al valor 0 sobre el área de extensión al alejarnos del área predeterminada.
- 65 Una representación de nervadura (spline) es conocida por el experto en la técnica. Una nervadura es una función polinómica suficientemente suave definida por tramos, y posee un alto grado de suavidad en los lugares donde las piezas polinomiales conectan. También se supone que los conceptos de una representación polinómica y una

representación racional son conocidos por el experto en la técnica.

De acuerdo con realizaciones preferidas, la determinación de los datos de distribución de las componentes segunda y tercera comprende realizar una transformación de Fourier, seguida de la realización de manipulaciones o cálculos basados en las relaciones físicas intrínsecas entre las componentes del campo magnético, seguida de una transformación inversa de Fourier.

La transformación de Fourier es conocida por el experto en la técnica. La transformada de Fourier es una transformación matemática que se usa comúnmente en el procesamiento de la imagen y se usa para descomponer una imagen (o una estructura bidimensional de puntos de datos) en sus componentes de seno y coseno. La salida de la transformación representa la imagen en el dominio de frecuencia o de Fourier, mientras que la imagen de entrada es el equivalente en el dominio espacial. En la imagen de dominio de Fourier, cada punto representa una frecuencia particular contenida en la imagen del dominio espacial. La frecuencia está aquí para ser entendida en términos de frecuencia espacial, también llamada "espacio-k", término que se utiliza comúnmente para describir las frecuencias espaciales, también llamadas 'números de onda'. Sin embargo, las operaciones matemáticas usadas en las transformadas de Fourier hacen abstracción de las unidades y el sistema de coordenadas que se usan, y son igualmente utilizables para las señales de dominio de tiempo (que son por lo general de una sola dimensión), así como para las señales de dominio espaciales, ya sean de una dimensión, de dos dimensiones o incluso de n dimensiones (donde 'n' es estrictamente un número entero positivo).

Para el caso en el que 'n'= 2, siendo el caso de dos dimensiones, el dominio espacial puede además ser especificado en cualquier sistema de coordenadas, tales como los sistemas de coordenadas cartesianas, el cilíndrico o el esférico. En todos estos casos, los datos de distribución se pueden formalizar en una matriz de dos dimensiones a las que se puede aplicar la transformada de Fourier. La determinación de las componentes segunda y tercera de campo magnético se basa en relaciones físicas implícitas entre las componentes primera, segunda y tercera de la distribución del campo magnético, explotadas por ejemplo mediante la manipulación de datos en el dominio transformado de Fourier, y, a continuación, realizando una transformación inversa de Fourier.

De acuerdo con realizaciones preferidas, realizar manipulaciones o cálculos comprende multiplicar la transformada de Fourier de la primera componente con un factor que es al menos una función de las frecuencias espaciales correspondientes a las direcciones segunda y/o tercera. Preferiblemente, este factor es, o es también, una función de la magnitud del vector de frecuencia espacial determinada por la segunda y tercera direcciones.

De acuerdo con realizaciones preferidas, la función es una función compleja.

De acuerdo con realizaciones preferidas, la función sólo tiene una parte imaginaria.

De acuerdo con realizaciones preferidas, el factor es o comprende una función de la relación de la frecuencia espacial correspondiente a la segunda o la tercera dirección, sobre la magnitud del vector de frecuencia espacial determinada por la segunda y tercera direcciones.

De acuerdo con realizaciones preferidas, la transformación de Fourier, los cálculos basados en las relaciones físicas intrínsecas entre las componentes del campo magnético y la transformación inversa de Fourier se realizan en bloque, utilizando para ello métodos de 'suma de solapamiento' o de 'grabación de solapamiento'.

En un segundo aspecto de la presente invención, se da a conocer un dispositivo para determinar un campo magnético vectorial en un área de dos dimensiones predeterminada, comprendiendo el dispositivo:

- unos medios para determinar la distribución de una primera de las tres componentes de un campo magnético a lo largo de una primera dirección, para un área predeterminada definida en una superficie predeterminada, estando la superficie predeterminada definida por una segunda y una tercera dirección, donde la primera, segunda y tercera direcciones constituyen un conjunto ortogonal de ejes;

- unos medios para determinar una distribución de la segunda y la tercera componentes del campo magnético en la segunda y la tercera direcciones, respectivamente, para el área predeterminada definida en la superficie predeterminada;

donde los medios para determinar los datos de distribución que comprenden valores de la segunda y la tercera componente están adaptados para la manipulación de datos de distribución de la primera componente en base a relaciones físicas intrínsecas entre las componentes primera, segunda y tercera del campo magnético vectorial.

De acuerdo con realizaciones preferidas, los medios para determinar los datos de distribución de las componentes segunda y tercera están adaptados para realizar al menos una transformada de Fourier y una transformada inversa de Fourier.

De acuerdo con realizaciones preferidas, los medios para determinar la distribución de una primera componente en

el área predeterminada comprenden un dispositivo de cámara magnética que comprende un área de detección, correspondiendo el área de detección al área predeterminada.

5 De acuerdo con realizaciones preferidas, los medios para determinar la distribución de una primera componente en el área predeterminada comprenden una estructura unidimensional de sensores de campo magnético cuya posición se acciona mecánicamente con el fin de escanear el área predeterminada, y graban la primera componente de la distribución en el área predeterminada.

10 De acuerdo con realizaciones preferidas, los medios para determinar la distribución de una primera componente en el área predeterminada comprenden un único sensor de campo magnético cuya posición se acciona mecánicamente con el fin de escanear el área predeterminada y graba la primera componente de la distribución en el área predeterminada.

15 De acuerdo con realizaciones preferidas, el dispositivo comprende adicionalmente medios para generar datos de distribución adicionales de la primera componente, comprendiendo los datos de distribución adicional valores esperados para la primera componente del campo magnético en un área de extensión, el área de extensión adyacente a la área predeterminada; y medios para realizar una transformación de Fourier sobre un conjunto extendido de datos de distribución, comprendiendo el conjunto extendido de datos de distribución los datos de distribución y los datos de distribución adicionales.

20 De acuerdo con realizaciones preferidas, los medios para generar datos adicionales de distribución de la primera componente comprenden medios para la simulación de la primera componente en el área predeterminada y la extrapolación de la simulación en el área de extensión.

25 En un tercer aspecto de la presente invención, se describe un programa de ordenador o producto de software, que está adaptado para realizar cualquiera de los métodos de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención, cuando se ejecuta en un ordenador.

30 Las características y ventajas descritas para uno de los aspectos anteriores de la presente invención están por la presente también implícitamente descritas para los demás aspectos, mutatis mutandis, que el experto en la técnica reconocerá. Por ejemplo, el dispositivo puede comprender cualesquiera medios necesarios que están adaptados para realizar cualquiera de las realizaciones descritas para el aspecto de método de la presente invención.

35 De acuerdo con realizaciones preferidas, la totalidad o parte de lo anterior se aplica para la inspección de imanes permanentes o conjuntos de imanes en aplicaciones industriales o académicas, tales como sistemas de sensores, interruptores y relés, motores eléctricos, actuadores, altavoces, micrófonos, acoplamientos magnéticos, imanes de retención, sistemas de guiado de haz, onduladores diversos, cojinetes magnéticos permanentes, instrumentos de medición, equipamiento de investigación, nuevos materiales magnéticos, o análisis no destructivos de materiales magnéticos tales como el acero.

40 Ejemplos de industrias en las que la presente invención se pueden aplicar son: automoción, industria, medicina, electrónica de consumo, producción de imanes y laboratorios de investigación.

**Breve descripción de los dibujos**

45 La divulgación se aclarará adicionalmente por medio de la siguiente descripción y las figuras adjuntas.

50 Las figuras 1-8 ilustran realizaciones de la presente invención. Las figuras 3 a 8 ilustran ejemplos de cómo se pueden generar datos de distribución adicionales para la primera componente del campo magnético vectorial, de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

**Descripción detallada de realizaciones preferidas**

55 La presente descripción se describirá con respecto a realizaciones particulares y con referencia a ciertos dibujos pero la descripción no se limita a ello, sino solamente por las reivindicaciones. Los dibujos descritos son solamente esquemáticos y no limitativos. En los dibujos, el tamaño de algunos de los elementos puede ser exagerado y no dibujado a escala para fines ilustrativos. Las dimensiones y las dimensiones relativas no corresponden necesariamente a las reducciones reales para la práctica de la divulgación.

60 Además, los términos “primero”, “segundo”, “tercero” y similares en la descripción y en las reivindicaciones se usan para distinguir entre elementos similares y no necesariamente para describir un orden secuencial o cronológico. Los términos son intercambiables en circunstancias apropiadas y las realizaciones de la divulgación pueden operar en otras secuencias que las descritas o ilustradas en este documento.

65 Por otra parte, los términos “superior”, “inferior”, “sobre”, “debajo” y similares en la descripción y las reivindicaciones se utilizan con fines descriptivos y no necesariamente para describir posiciones relativas. Los términos así usados

son intercambiables bajo circunstancias apropiadas y las realizaciones de la divulgación descrita en este documento puede funcionar en otras orientaciones que las descritas o ilustradas en este documento.

Además, las diversas realizaciones, si bien se mencionan como "preferidas" se han de interpretar como maneras ejemplares en que la divulgación puede ser implantada en lugar de como limitación del alcance de la descripción.

Se describe un método para la determinación de un campo magnético vectorial en un área predeterminada, lo que permite una determinación de los tres componentes del campo magnético vectorial, por medio de un dispositivo de cámara magnética. El método comprende los pasos de:

- determinar los datos de distribución que comprenden valores de una primera de tres componentes de un campo magnético a lo largo de una primera dirección, para un área predeterminada definida en una superficie predeterminada, estando la superficie predeterminada definida por una segunda y una tercera dirección, en el que la primera, segunda y tercera direcciones constituyen un conjunto ortogonal de ejes;

- determinar los datos de distribución que comprenden valores de la segunda y la tercera componentes del campo magnético en la segunda y la tercera direcciones respectivamente, para el área predeterminada definida en la superficie predeterminada;

en el que determinar la distribución de datos que comprenden valores de la segunda y la tercera componente se basa en hacer uso de las relaciones físicas intrínsecas entre las componentes primera, segunda y tercera de la distribución del campo magnético.

La determinación de una distribución de la segunda y la tercera componentes preferiblemente incluye la realización de una transformación de Fourier en los datos de distribución de la primera componente, la manipulación de los datos de la transformada de Fourier y la realización de la transformada inversa de Fourier. Aquí se explotan las relaciones físicas entre las componentes primera, segunda y tercera de la distribución de campo.

Una relación física entre las componentes primera, segunda y tercera de la distribución del campo magnético es la Ley circuital simplificada de Ampère, que es válida para las regiones donde no hay fuentes de campo magnético y no hay campos eléctricos variables:

Ecuación 1 
$$\nabla \times \vec{B} = \vec{0},$$

donde B con la flecha es el vector de campo magnético. Expresando la ecuación 1 en rendimientos de coordenadas cartesianas:

Ecuación 2 
$$\frac{\partial B_z}{\partial y} - \frac{\partial B_y}{\partial z} = 0;$$

$$\frac{\partial B_z}{\partial x} - \frac{\partial B_x}{\partial z} = 0;$$

donde z es la dirección fuera del plano y x e y son las coordenadas en el plano. Ahora definimos las transformadas de Fourier  $\hat{B}_x, \hat{B}_y, \hat{B}_z$  con virgulilla de las componentes del campo magnético  $B_x, B_y, B_z$  como sigue:

Ecuación 3 
$$\hat{B}_{x,y,z}(k_x, k_y, z) = \int_{-\infty-\infty}^{+\infty+\infty} \int_{-\infty-\infty}^{+\infty+\infty} B_{x,y,z}(x, y, z) e^{-i(k_x x + k_y y)} dx dy$$

$$B_{x,y,z}(x, y, z) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty-\infty}^{+\infty+\infty} \int_{-\infty-\infty}^{+\infty+\infty} \hat{B}_{x,y,z}(k_x, k_y, z) e^{i(k_x x + k_y y)} dk_x dk_y$$

donde i es la unidad imaginaria,  $k_x$  y  $k_y$  denotan los números de onda o frecuencias espaciales en el plano xy, y  $\hat{B}_x, \hat{B}_y, \hat{B}_z$  con virgulilla denotan las transformadas de Fourier de  $B_x, B_y, B_z$ , respectivamente. La segunda fórmula en la ecuación 3 es la transformada de Fourier inversa.

Cuando la transformada de Fourier de las expresiones en la ecuación 2 se calcula, obtenemos:



Ecuación 4

$$ik_y \cdot \hat{B}_z(k_x, k_y, z) - \frac{\partial \hat{B}_y(k_x, k_y, z)}{\partial z} = 0$$

$$ik_x \cdot \hat{B}_z(k_x, k_y, z) - \frac{\partial \hat{B}_x(k_x, k_y, z)}{\partial z} = 0$$

$$ik_y \cdot \hat{B}_x(k_x, k_y, z) - ik_x \cdot \hat{B}_y(k_x, k_y, z) = 0$$

Las dos primeras fórmulas de la ecuación 4 contienen derivadas parciales de las componentes del campo magnético en el plano en el dominio de frecuencia espacial con respecto a la dirección z. Estas dos expresiones se pueden reescribir, haciendo uso de la definición de una derivada parcial:

5

Ecuación 5

$$\lim_{\delta z \rightarrow 0} \frac{\hat{B}_y(k_x, k_y, z + \delta z) - \hat{B}_y(k_x, k_y, z)}{\delta z} = ik_y \cdot \hat{B}_z(k_x, k_y, z)$$

$$\lim_{\delta z \rightarrow 0} \frac{\hat{B}_x(k_x, k_y, z + \delta z) - \hat{B}_x(k_x, k_y, z)}{\delta z} = ik_x \cdot \hat{B}_z(k_x, k_y, z)$$

La ecuación 5 puede reescribirse adicionalmente mediante el uso de identidades de Green:

Ecuación 6

$$\lim_{\delta z \rightarrow 0} \frac{\hat{B}_y(k_x, k_y, z) e^{-\sqrt{k_x^2 + k_y^2} \delta z} - \hat{B}_y(k_x, k_y, z)}{\delta z} = ik_y \cdot \hat{B}_z(k_x, k_y, z)$$

$$\lim_{\delta z \rightarrow 0} \frac{\hat{B}_x(k_x, k_y, z) e^{-\sqrt{k_x^2 + k_y^2} \delta z} - \hat{B}_x(k_x, k_y, z)}{\delta z} = ik_x \cdot \hat{B}_z(k_x, k_y, z)$$

10

Los límites de la ecuación 6 se pueden evaluar usando la regla de l'Hôpital y resultan las siguientes expresiones:

Ecuación 7

$$\hat{B}_y(k_x, k_y, z) = \frac{-ik_y}{\sqrt{k_x^2 + k_y^2}} \cdot \hat{B}_z(k_x, k_y, z)$$

$$\hat{B}_x(k_x, k_y, z) = \frac{-ik_x}{\sqrt{k_x^2 + k_y^2}} \cdot \hat{B}_z(k_x, k_y, z)$$

15

La ecuación 7 dice que las componentes B<sub>x</sub> y B<sub>y</sub> del campo magnético se pueden obtener a partir de una distribución bidimensional de la componente B<sub>z</sub> del campo magnético.

20

Mientras que la derivación de la ecuación 7 hace uso de un sistema de coordenadas cartesiano, este resultado también se puede aplicar en un sistema de coordenadas cilíndrico, como se muestra ahora. Consideremos un sistema de coordenadas cilíndrico, determinado por un eje Z, con las siguientes direcciones ortogonales: la dirección radial 'r' es perpendicular al eje Z, la dirección angular 'e' es perpendicular tanto al eje Z como a la dirección radial e indica la dirección de rotación alrededor del eje Z, la tercera coordenada es la dirección Z.

25

En primer lugar, se muestra cómo las componentes de Θ y Z, B<sub>Θ</sub> y B<sub>Z</sub>, de una distribución del campo magnético se pueden obtener a partir de la distribución de la componente radial B<sub>r</sub> en la superficie curvada de un cilindro de radio 'R' y altura 'H' en la dirección Z. La superficie curvada del cilindro se puede transformar en una superficie plana por "desarrollo" del cilindro. Esta superficie cilíndrica en el sistema de coordenadas cilíndrico (R, Θ, Z) es entonces proyectada sobre un sistema de coordenadas cartesiano (X', Y', Z') de la siguiente forma:

Ecuación 8

$$\begin{aligned} X' &= R \cdot \theta \\ Y' &= Z \\ Z' &= R \end{aligned}$$

Y las componentes del campo magnético en el sistema de coordenadas cilíndrico se transforman en las componentes cartesianas de la siguiente forma:

Ecuación 9

$$\begin{aligned} B_{x'} &= B_{\theta} \\ B_{y'} &= B_z \\ B_{z'} &= B_R \end{aligned}$$

5 Las componentes del campo magnético en el sistema de coordenadas cilíndrico ahora pueden ser tratadas como componentes en un sistema de coordenadas cartesianas, y la ecuación 7 se puede aplicar con el fin de determinar las componentes  $B_{\theta}$  y  $B_z$ . Por ello se debe observar que la distribución de campo en el cilindro es periódica en la dirección  $\theta$  y de este modo está preferiblemente sujeta a condiciones periódicas de límite en el sistema de coordenadas cartesianas cuando se realiza la transformada de Fourier.

10 Ahora se muestra cómo las componentes de  $\theta$  y  $R$ ,  $B_{\theta}$  y  $B_R$ , de una distribución del campo magnético se pueden obtener a partir de la distribución de la componente axial (de  $Z$ ) en una superficie de disco de un cilindro de radio 'r'. La superficie del disco en el sistema de coordenadas cilíndrico ( $R$ ,  $\theta$ ,  $Z$ ) se puede transformar en una superficie de coordenadas cartesianas proyectándola en un sistema de coordenadas cartesianas ( $X'$ ,  $Y'$ ,  $Z'$ ) de la siguiente forma:

Ecuación 10

$$\begin{aligned} X' &= R \cdot \cos \theta \\ Y' &= R \cdot \sin \theta \\ Z' &= Z \end{aligned}$$

20 Y las componentes del campo magnético en el sistema de coordenadas cilíndrico se transforman en las componentes cartesianas de la siguiente forma:

Ecuación 11

$$\begin{aligned} B_{x'} &= B_R \cdot \cos \theta - B_{\theta} \cdot \sin \theta \\ B_{y'} &= B_R \cdot \sin \theta + B_{\theta} \cdot \cos \theta \\ B_{z'} &= B_z \end{aligned}$$

25 Las componentes del campo magnético en el sistema de coordenadas cilíndricas ahora pueden ser tratadas como componentes en un sistema de coordenadas cartesianas y la ecuación 7 se pueden aplicar con el fin de determinar las componentes  $B_{x'}$  y  $B_{y'}$ . Por ello se observa que la rejilla en el sistema de coordenadas cilíndricas puede no transformarse en una rejilla regular en el sistema de coordenadas cartesianas cuando se aplica la ecuación 10. Sin embargo, la rejilla transformada puede volverse regular de nuevo por métodos de interpolación que son bien conocidos para los expertos en la técnica. A partir de las componentes  $B_{x'}$  y  $B_{y'}$  encontradas, las componentes  $B_{\theta}$  and  $B_R$  pueden ser fácilmente recuperadas mediante la realización de la transformación inversa de la ecuación 11.

30 Por ello, podría ser necesario otro paso de interpolación con el fin de obtener los valores de  $B_{\theta}$  y  $B_R$  en los puntos originales de rejilla en el sistema de coordenadas cilíndrico.

35 Con el fin de obtener condiciones de límite adecuadas en la periferia exterior de la superficie de disco transformada en coordenadas cartesianas, puede ser necesario aplicar métodos de extrapolación de acuerdo con los métodos descritos en la presente invención. Los expertos en la técnica reconocerán que el método anterior se aplica igualmente a una superficie anular, en donde sólo se considera el área entre un radio interior y un radio exterior. Por ello, la superficie interior del disco, en la que no hay puntos de datos presentes, puede ser extrapolada de acuerdo con los métodos descritos en la presente invención.

40 Será evidente para un experto en la técnica que se pueden aplicar enfoques similares a otros sistemas de coordenadas, como el sistema de coordenadas esféricas.

En el espacio tridimensional con el sistema de ejes cartesianos (X, Y, Z), la distribución espacial de las componentes de un campo magnético se mide en un área predeterminada, por ejemplo, un área rectangular o cuadrada, siendo el área predeterminada plana y correspondiente al plano XY del sistema de ejes cartesianos. La medición de la distribución del campo magnético se puede realizar por medio de una cámara de campo magnético, que se basa en una matriz bidimensional de sensores de Hall, midiendo, cada uno de los sensores de Hall, el campo magnético localmente. Alternativamente, la medición del campo magnético se puede realizar con dispositivos magneto-ópticos. Hoy en día, los dispositivos magnéticos de cámara son capaces sólo de medir un componente fuera del plano de un campo magnético. De acuerdo con realizaciones de la presente invención, una distribución de campo magnético medido por la primera componente del campo magnético vectorial, por ejemplo, la componente Z, se puede usar para determinar las componentes X e Y. Por el presente documento, el análisis de Fourier se puede utilizar ventajosamente. Un área práctica de aplicación es el campo de determinar la distribución del campo magnético de un objeto magnético, como por ejemplo un imán permanente.

El método descrito posteriormente se puede aplicar en una distribución medida de la componente Z de un campo magnético vectorial, o se puede aplicar en una versión mejorada de la misma. De hecho, la distribución medida de la componente Z del campo magnético se puede optimizar, por ejemplo de acuerdo con un método descrito en la solicitud de patente europea EP2508906, antes de que las componentes X e Y sean determinadas como se establece posteriormente.

Se apreciará además que el método puede ser utilizado para determinar los valores de las componentes segunda y tercera de un campo magnético vectorial a lo largo de cualquier superficie, por ejemplo una superficie plana o curva, siendo esta última por ejemplo una superficie cilíndrica o una superficie esférica, que puede ser virtual, para lo cual se conoce la distribución de la primera componente. De hecho, los datos de distribución utilizados que comprenden valores para la primera componente de un campo magnético vectorial pueden corresponder a valores medidos, a valores medidos corregidos o a valores puramente simulados basados en modelos teóricos, dependiendo, por ejemplo, del contexto y de la aplicación.

Una condición importante para permitir un cálculo correcto de las componentes X e Y es que el campo magnético, en el límite exterior del área medida, el área predeterminada, satisfaga las condiciones de límite adecuadas. En la práctica, esto puede significar que el campo en el límite sea cercano a cero o cero (por ejemplo, por debajo del nivel de ruido), o podría significar que hay condiciones de límite periódicas. Si las condiciones de límite no se satisfacen, pueden introducirse errores en las componentes X e Y calculadas. Al considerar el caso en el que se supone que el campo magnético cae a cero a distancias suficientemente grandes de la fuente magnética, se puede usar, en teoría, un área predeterminada, o área de medición, que sea lo suficientemente grande, de modo que la primera componente medida del campo magnético se puede despreciar con respecto al ruido de medición en el límite exterior del área de medición, de modo que no se introduzcan estos errores.

En la práctica, no obstante, el aumento del área de medición no siempre es posible, ya que esto significaría un aumento del área activa de un dispositivo magnético de cámara o el uso de sistemas de dispositivos magnéticos de cámara más complejos, que combinen una pluralidad de mediciones de cámara de campo magnético en paralelo o en serie tomadas por una sola cámara magnética o por una pluralidad de cámaras magnéticas. Esto significa que, en la práctica, los dispositivos magnéticos de cámara tienen un área de medición limitada, que corresponde al área predeterminada para la que se está midiendo la primera componente del campo magnético vectorial. En ese caso, la componente Z del campo magnético no puede ser lo suficientemente pequeña o cero en sus límites exteriores, lo que pone en peligro la posibilidad de determinar las componentes X e Y dentro del área predeterminada con la precisión suficiente.

Si se mide la componente Z de un campo magnético vectorial de un objeto magnético, el campo magnético medido evolucionará monótonamente a cero cuando la distancia con respecto al objeto magnético esté aumentando. Si se mide en un área de dos dimensiones, por medio de, por ejemplo, el dispositivo magnético de cámara que comprende un área activa o de medición que corresponde a el área predeterminada, la cual incluye, por ejemplo, un objeto magnético, se puede esperar que el campo magnético en el límite exterior del área predeterminada evolucione monótonamente a cero, pero no alcanzará tal valor cercano a cero o cero en estos límites.

Es un objeto adicional de la presente invención extrapolar la evolución adicional de las componentes del campo magnético virtualmente al expandir virtualmente el área predeterminada (1), es decir, el área activa de la cámara de campo magnético, con el fin de lograr una imagen más grande. Estas áreas se ilustran en la figura 1. Esta imagen más grande puede ser elegida de tal manera que el campo magnético en los límites exteriores de la misma sea de hecho lo suficientemente pequeño; es decir, cercano a cero o cero. Esta imagen más grande corresponde al área predeterminada (1) y a un área (2) de extensión, que es adyacente a, preferiblemente directamente adyacente a, el área predeterminada. Preferiblemente, el área (2) de extensión está rodeando el área predeterminada (1). El área de extensión puede ser, por ejemplo, el área de complemento del área predeterminada, de un área rectangular o cuadrada que rodea el área predeterminada, mediante la cual el área predeterminada puede, por ejemplo, ser colocada en el centro de esta área rectangular o cuadrada. Es el objeto de las realizaciones de la presente invención simular los valores esperados de la primera componente de campo magnético en el área de extensión de tal manera que no se desvíe sustancialmente de la manera en que el campo evolucionaría a cero en la realidad. El resultado es

una distribución de la primera componente del campo magnético en un área más grande virtual que no se desvía sustancialmente de una imagen que se haría si fuera posible medir en el área de extensión directamente. Los datos de distribución adicionales de la primera componente del campo magnético correspondiente a los valores esperados para la primera componente del campo magnético en el área de extensión se combinan después con los datos de distribución de la primera componente del campo magnético en el área predeterminada, formando juntos un conjunto ampliado de datos de distribución, y se aplica una transformación de Fourier a este conjunto extendido.

Tal transformación de Fourier, la manipulación de los datos de transformada de Fourier, que explota relaciones físicas inherentes entre las componentes primera, segunda y tercera de la distribución de campo, y la realización de la transformada inversa de Fourier, dan como resultado las componentes X e Y del campo magnético. Estas distribuciones de las componentes X e Y se generan automáticamente para no sólo el área predeterminada, sino también para el área de extensión. La distribución de X e Y del campo magnético vectorial en el área de extensión es a menudo menos importante, y se puede retirar del conjunto de datos con el fin de terminar con las componentes X, Y y Z del campo magnético vectorial en el área predeterminada solamente.

En términos más generales, las direcciones primera, segunda y tercera no se corresponden necesariamente con las instrucciones de un sistema de coordenadas cartesianas, pero igualmente puede aplicarse a otros sistemas de coordenadas, tales como sistemas de coordenadas esféricas o cilíndricas. En los dos últimos casos, algunas direcciones tienen dimensiones angulares en lugar de dimensiones longitudinales. Para tales direcciones, por lo general no se necesita el área extendida, ya que es suficiente para obtener datos de medición a lo largo de la circunferencia completa de dicha dirección, por ejemplo, a lo largo de toda la circunferencia de un cilindro. Los datos de medición en tales dimensiones son inherentemente periódicos y tienen condiciones periódicas de límite, lo que significa que el valor en  $360^\circ$  es igual al de en  $0^\circ$ . Por lo tanto, en tal caso, la transformada de Fourier se calculará de manera correcta sin aplicar el área de extensión en tales direcciones. Condiciones similares de límite pueden ser apropiadas en algunos casos en coordenadas cartesianas, donde por ejemplo se mide un objeto magnético muy largo con perfil periódico de magnetización, y para el cual se aplican condiciones periódicas de límite.

Cuando la distribución de la componente de campo magnético medida en los límites del área predeterminada no se acerca a cero, porque, por ejemplo, el objeto magnético es mayor que el área de medición de la cámara de campo magnético, puede ser necesario extender el área predeterminada de medición con el fin de asegurar que la distribución medida se aproxime suficientemente a cero en sus límites, de modo que los métodos de la presente invención se puedan aplicar. Para tal caso, puede ser necesario medir un área más grande mediante la progresión del área de medición en las direcciones segunda y/o tercera, y, en cada nueva ubicación, medir la distribución en una nueva área predeterminada que es adyacente al área predeterminada anterior, tras de lo cual todas las distribuciones determinadas se 'cosen' juntas como para dar como resultado una gran área predeterminada, en los bordes de la cual el campo magnético ha evolucionado lo suficiente hacia cero como para aplicar los métodos de extrapolación descritos en la presente invención, con el objeto de determinar las componentes segunda y tercera de la distribución del campo magnético. Ciertos métodos y dispositivos para lograr esto están descritos, por ejemplo, en la solicitud de patente europea EP12188521.4 presentada el 15 de octubre de 2012 por el solicitante de la presente solicitud. Tal dispositivo puede ser descrito como un dispositivo para determinar una distribución de campo magnético de un imán a lo largo de una superficie principal del imán, comprendiendo el dispositivo:

a. una disposición de al menos dos módulos de cámara de campo magnético independientes, estando dispuestos en una posición relativa fija uno con respecto al otro, estando cada módulo de cámara de campo magnético adaptado para medir una distribución del campo magnético para la cual se expone por medio de una superficie respectiva de detección;

b. un medio para proporcionar un movimiento relativo predeterminado entre la superficie principal y la disposición para escanear por ello la distribución del campo magnético del imán a lo largo de la superficie principal.

El método asociado es un método para determinar una distribución de campo magnético de un imán a lo largo de una superficie principal del imán, comprendiendo el dispositivo:

- proporcionar el imán;

- proporcionar una disposición de al menos dos módulos de cámara de campo magnético independientes estando dispuestos en una posición relativa fija uno con respecto al otro, estando cada módulo de la cámara de campo magnético adaptado para medir una distribución del campo magnético para la cual se expone por medio de una superficie respectiva de detección;

- proporcionar un movimiento relativo predeterminado entre la superficie principal y la disposición para escanear por ello la distribución del campo magnético del imán a lo largo de la superficie principal.

Con el fin de determinar las componentes segunda y tercera del campo magnético para esta distribución cosida, los métodos descritos en la presente invención se pueden aplicar al área predeterminada resultante (cosida).

Otro método, sin embargo, consiste en aplicar los denominados métodos de 'suma de solapamiento' o de 'grabación de solapamiento', que son conocidos para el experto en la técnica de procesamiento de señales, por lo que la transformada de Fourier, la manipulación de datos basada en propiedades físicas intrínsecas de un campo magnético vectorial, y la transformación inversa se realizan en cada área predeterminada individual comprendiendo el área predeterminada combinada mayor, sin la aplicación de los métodos de extrapolación descritos en la presente invención. Cuando se combinan las componentes segunda y tercera determinadas en la distribución mayor, se aplica la 'suma de solapamiento' o la 'grabación de solapamiento'.

Los métodos de 'suma de solapamiento' y de 'grabación de solapamiento' también se pueden aplicar en los otros casos descritos en la presente invención de la siguiente manera. En lugar de determinar primero la distribución adicional del área extendida y después aplicar la manipulación de datos sobre la base de las propiedades físicas intrínsecas de un campo magnético vectorial (por ejemplo, comprendiendo la aplicación de una transformada de Fourier, la manipulación de datos de la transformada de Fourier, y la realización de una transformada inversa de Fourier) con el fin de obtener los otros componentes de la distribución, la aplicación de una transformada de Fourier, la manipulación de datos y la realización de una transformada inversa de Fourier se aplican por separado en el área predeterminada y a las (subregiones de) el área extendida de una forma por bloques. Por ello, cada uno de los bloques puede estar relleno de ceros en cierta medida con el fin de crear regiones de solapamiento entre los bloques re transformados. Los bloques re transformados resultantes se combinan entonces en la matriz mayor final, con lo cual se añaden las regiones de solapamiento juntas. Adicionalmente, el área predeterminada en sí puede también ser tratada por bloques, por ejemplo en el caso de un imán grande en el que el área predeterminada es relativamente grande y se mide de una forma por bloques. Este método corresponde al método de suma de solapamiento. Una persona experta en la técnica reconocerá fácilmente la posibilidad análoga de aplicar el método de grabación de solapamiento a los mismos datos.

Alternativamente, las áreas predeterminadas y extendidas pueden ser tratadas por bloques o por secciones, en donde la determinación de las componentes segunda y tercera se realiza en cada bloque/sección por separado, y sus resultados se suman juntos o se guardan de acuerdo con los métodos de suma de solapamiento y grabación de solapamiento, respectivamente.

Como una mejora adicional del método anterior, los métodos de suma de solapamiento y grabación de solapamiento también se pueden utilizar en un área de extensión infinita, en donde la extrapolación se expresa como una función analítica en la que la transformada de Fourier y otras operaciones pueden ser analíticamente determinadas en el intervalo que va desde el infinito hasta el borde del área predeterminada.

Los datos de distribución de la primera componente del campo magnético vectorial en el área de extensión se pueden determinar de muchas maneras, algunas de las cuales se explican a continuación.

Las figuras 3-8 ilustran ejemplos de cómo se pueden generar datos de distribución adicionales para la primera componente del campo magnético vectorial, de acuerdo con realizaciones de la presente invención. Los patrones representados ilustran la evolución de los valores de la primera componente a lo largo de una sección transversal S como se representa en la figura 1. La sección transversal puede comprender una porción exterior del área predeterminada solamente, pero se puede extender hasta el centro del área predeterminada.

De acuerdo con una primera realización, ilustrada en la figura 3, la componente Z o primera componente del campo magnético vectorial se ajusta al valor cero (0) en el área completa de extensión. Cuando los valores medidos de la componente del campo magnético vectorial en el límite exterior del área predeterminada difieren de cero, el método puede introducir sin embargo una discontinuidad de los valores en el límite exterior del área predeterminada, que todavía puede introducir errores en un cálculo subsiguiente de las componentes X e Y del vector de campo magnético.

De acuerdo con una realización alternativa, ilustrada en la figura 8, de la presente invención, los datos de distribución adicionales que comprenden la primera componente del campo magnético vectorial se simulan o modelan para el área predeterminada, y los resultados de la simulación o del modelado están/se extrapolan en el área de extensión.

De acuerdo con realizaciones preferidas, ilustradas en la figura 2, el campo magnético en posiciones situadas en el área de extensión se puede establecer en el mismo valor que el punto más cercano del área predeterminada. Para un área predeterminada rectangular, esto significaría que los valores de límite del área predeterminada y del área de este modo medida se establecen como un valor fijo, constante, en toda el área de extensión a lo largo de una dirección que es ortogonal en el límite exterior del área predeterminada (las porciones 20). En las áreas de esquina que luego quedan (21), el valor de la esquina correspondiente del área predeterminada se establece como un valor constante. Subsiguientemente, se aplica una función de ventana sobre el área predeterminada y el área de extensión, que tiene un valor "1" en el área predeterminada o medida y que evoluciona continuamente hasta el (cerca del) valor cero en el límite exterior del área predeterminada. Por ejemplo, la función de ventana puede ser una ventana de Tukey (ilustrada en la figura 5) o una ventana de Planck-Taper. Alternativamente, se pueden usar las denominadas "función de bump" o una "función de test", que tienen la propiedad de que evolucionan a partir de un

valor 1 a un valor cero dentro de un área limitada, por lo que pueden ser infinitamente diferenciadas, y por lo que, de este modo, no introducen discontinuidades en la función o en ninguna de sus derivadas primera o de orden superior, lo que las hace adecuadas para ser usadas como una función de ventana en este contexto.

5 De acuerdo con una realización adicional, ilustrada en la figura 4, los valores de la primera componente del campo magnético vectorial en el límite exterior del área predeterminada están evolucionando exponencialmente hacia un valor cero en el área de extensión. Preferiblemente, el factor exponencial está predeterminado de modo que su valor suficientemente pequeño o el valor cero se alcanza en el límite exterior del área de extensión. En la práctica, es suficiente que la distribución del campo magnético en el límite exterior del área de extensión tenga un valor que esté por debajo del ruido de medición. Este método garantiza la continuidad de los valores en el borde exterior del área predeterminada, pero no garantiza la continuidad de la primera de sus derivadas.

15 En una realización preferida adicional, la primera componente del campo magnético vectorial en el (área límite del) área predeterminada está representada por una representación polinómica. El orden de la función polinómica extrapolada se puede reducir, por ejemplo, a orden dos ("polinomio cuadrático"), o a orden uno ("polinomio lineal"), a fin de no obtener valores de extrapolación inestables. Este método garantiza que la continuidad de los valores de medición y de las derivadas se determine en la misma medida que el orden de la función polinómica usada. En la práctica, se prefiere adicionalmente aplicar adicionalmente una función de ventana en estos valores extrapolados, de manera que se pueda garantizar que la distribución de la primera componente del campo magnético vectorial llega a un valor que es suficientemente pequeño o cero en el límite exterior del área de extensión.

25 En una realización preferida adicional, la primera componente del campo magnético vectorial en el (área límite del) área predeterminada está representada por una representación de función racional. El orden de la función racional extrapolada se puede elegir para, por ejemplo, orden -1 (" $1/x$ "), orden -2 (" $1/x^2$ ") u orden -3 (" $1/x^3$ "). El último caso es particularmente útil ya que corresponde a la tasa de disminución del campo magnético de un dipolo magnético, que es la aproximación de un imán a grandes distancias del imán. Este método garantiza que el campo magnético se aproxima a cero cuando se mueve adicionalmente en el área de extensión. En la práctica, puede ser adicionalmente preferible aplicar una función de ventana en estos valores extrapolados, de manera que se puede garantizar que la distribución de la primera componente del campo magnético vectorial llega a un valor que es suficientemente pequeño o cero en el límite exterior del área de extensión.

35 En una realización preferida adicional, la primera componente del campo magnético vectorial en el (área límite del) área predeterminada está representada por una representación "de nervadura", que se ilustra en la figura 6. El orden de la función extrapolada de nervadura se puede reducir, por ejemplo, a orden dos ("de nervadura cuadrática"), o a orden uno ("de nervadura lineal"), a fin de no obtener valores de extrapolación inestables. Este método garantiza que la continuidad de los valores de medición y las derivadas se determina en la misma medida que el orden de la función de nervadura usada. En la práctica, se prefiere adicionalmente aplicar adicionalmente una función de ventana en estos valores extrapolados, de manera que se pueda garantizar que la distribución de la primera componente del campo magnético vectorial llega a un valor que es suficientemente pequeño o cero en el límite exterior del área de extensión. Esto se ilustra en la figura 7.

45 Según una realización adicional de la presente invención, los valores de la primera componente del campo magnético en el límite del área predeterminada se pueden extrapolar sobre la base de una distribución de campo magnético simulada para el objeto magnético del cual fue medida la distribución del campo magnético. Los algoritmos de simulación se pueden utilizar para calcular la distribución del campo magnético basándose, por ejemplo, en una o más propiedades del objeto magnético, tales como, por ejemplo, forma, material, vector de magnetización, posición, y así sucesivamente. También aquí, se puede hacer uso de cualquiera de los métodos descritos por ejemplo en el documento EP 2508906.

50 De acuerdo con otra realización de la presente invención, las componentes segunda y tercera de la distribución del campo magnético de un área de 'cosido' predeterminada se realizan de la siguiente manera, cuando se utilicen los métodos de suma de solapamiento o de grabación de solapamiento. De este modo, la transformada de Fourier y las operaciones de transformada inversa se realizan en cada área predeterminada individual, que puede o no puede estar rellena de ceros, sin aplicar los métodos de extrapolación descritos en la presente invención. Cuando se combinan las componentes segunda y tercera determinadas en la distribución mayor, se aplican métodos de suma de solapamiento y grabación de solapamiento.

De acuerdo con otra realización de la presente invención, los métodos de suma de solapamiento y grabación de solapamiento se usan en un área de extensión finita o infinita.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para determinar un campo magnético vectorial en un área predeterminada, comprendiendo dicho método:

5 - la determinación de datos de distribución que comprenden valores de una primera de tres componentes de un campo magnético a lo largo de una primera dirección, para un área predeterminada (1) definida en una superficie predeterminada, estando dicha superficie predeterminada definida por unas direcciones segunda y tercera, en el que dichas direcciones primera, segunda y tercera constituyen un conjunto ortogonal de ejes;

10 - la determinación de datos de distribución que comprenden valores de la segunda y la tercera componentes de dicho campo magnético en dichas direcciones segunda y tercera, respectivamente, para dicha área predeterminada (1) definida en dicha superficie predeterminada;

15 caracterizado porque la determinación de los datos de distribución que comprenden valores de las componentes segunda y tercera se basa en hacer uso de relaciones físicas intrínsecas entre las componentes primera, segunda y tercera de dicha distribución del campo magnético; y en el que la determinación de los datos de distribución de dichas componentes segunda y tercera comprende realizar una transformación de Fourier, seguida de la realización de cálculos basados en relaciones físicas intrínsecas entre las componentes del campo magnético, seguida de una transformación de Fourier inversa.

20

2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende adicionalmente:

25 - generar datos adicionales de distribución de dicha primera componente, comprendiendo, dichos datos de distribución adicionales, valores esperados para dicha primera componente de dicho campo magnético en un área (2) de extensión, estando dicha área (2) de extensión adyacente a dicha área predeterminada (1); y

30 - determinar datos de distribución comprendiendo valores de las componentes segunda y tercera de dicho campo magnético en dichas direcciones segunda y tercera, respectivamente, para un conjunto extendido de datos de distribución, comprendiendo dicho conjunto extendido de datos de distribución dichos datos de distribución y dichos datos de distribución adicionales.

35 3. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que determinar los datos de distribución comprendiendo valores de una primera componente de un campo magnético a lo largo de una primera dirección, para un área predeterminada (1) definida en una superficie predeterminada, comprende medir valores de medición de dicha primera componente por medio de una cámara de campo magnético.

40 4. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que determinar los datos de distribución comprendiendo valores de una primera componente de un campo magnético a lo largo de una primera dirección, para un área predeterminada (1) definida en una superficie predeterminada, comprende adicionalmente modelar dichos valores de medición de dicha primera componente en base a un modelo predeterminado y/o a parámetros de entrada predeterminados.

45 5. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en el que dichos datos de distribución de dicha primera componente comprende valores distintos de cero para dicha primera componente de dicho campo magnético correspondiente a un emplazamiento en un borde exterior de dicha área predeterminada (1).

50 6. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende la determinación de dichos valores de dicha primera componente comprendido en dichos datos de distribución adicionales por simulación o modelización de dicha primera componente en dicha área predeterminada (1) y la extrapolación del resultado de dicha simulación a dicha área (2) de extensión.

55 7. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores 2 a 5, en el que dichos valores de dicha primera componente comprendidos en dichos datos de distribución adicionales se ponen a cero.

60 8. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores 2 a 5, en el que dichos valores de dicha primera componente comprendidos en dichos datos de distribución adicionales se establecen para ir decreciendo monótonamente a cero en dicha área (2) de extensión cuando nos movemos desde un límite exterior de dicha área predeterminada (1), lejos de dicha área predeterminada, hacia un borde exterior de dicha área (2) de extensión.

9. Un método de acuerdo con la reivindicación 8, que comprende la determinación de dichos valores de dicha primera componente comprendidos en dichos datos de distribución adicionales al:

65 - extrapolar o establecer valores de dichos primeros datos de distribución de dicha primera componente correspondientes a dicho límite exterior de dicha área predeterminada (1) sobre dicha área (2) de extensión;

- aplicar una función de ventana en dichos valores extrapolados para dicha área de extensión, evolucionando dicha función de ventana del valor 1 al valor 0 a través de dicha área de extensión cuando nos alejamos de dicha área predeterminada (1).

5 10. Un método de acuerdo con la reivindicación 8, que comprende la determinación de dichos valores de dicha primera componente comprendidos en dichos datos de distribución adicionales mediante la generación de valores de la primera componente que van disminuyendo exponencialmente a través de dicha área (2) de extensión cuando nos alejamos de dicha área predeterminada (1), comenzando desde dicho límite exterior de dicha área predeterminada (1), de manera que dichos valores de dicha primera componente se atenúan hacia cero en el límite exterior de dicha área de extensión.

11. Un método de acuerdo con la reivindicación 8, que comprende la determinación de dichos valores de dicha primera componente comprendidos en dichos datos de distribución adicionales al:

15 - generar una representación de nervadura (spline) polinómica o racional de dichos valores de dicha primera componente de dicho campo magnético, para al menos parte de dicha área predeterminada (1);

- extrapolar dicha representación de nervadura polinómica o racional para valores extrapolados de dicha primera componente de dicho campo magnético en dicha área (2) de extensión.

20 12. Un método de acuerdo con la reivindicación 11, que comprende adicionalmente la aplicación de una función de ventana en dichos valores extrapolados para dicha área (2) de extensión, evolucionando dicha función de ventana del valor 1 al valor 0 a través de dicha área (2) de extensión cuando nos alejamos de dicha área predeterminada (1).

25 13. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende realizar dicha transformación de Fourier, dichos cálculos basados en relaciones físicas intrínsecas entre las componentes del campo magnético y dicha transformación inversa de Fourier por bloques, utilizando por ello métodos de 'suma de solapamiento' o de 'grabación de solapamiento'.

30 14. Un dispositivo para determinar un campo magnético vectorial en un área predeterminada, comprendiendo dicho dispositivo:

- un medio para determinar los datos de distribución de la primera de tres componentes de un campo magnético a lo largo de una primera dirección, para un área predeterminada (1) definida en una superficie predeterminada, estando dicha superficie predeterminada definida por unas direcciones segunda y tercera, en el que dichas direcciones primera, segunda y tercera constituyen un conjunto ortogonal de ejes;

35 - un medio para determinar los datos de distribución de los valores de las componentes segunda y tercera de dicho campo magnético en dichas direcciones segunda y tercera, respectivamente, para dicha área predeterminada (1) definida en dicha superficie predeterminada;

40 en el que dichos medios para determinar datos de distribución que comprenden valores de las componentes segunda y tercera están adaptados para manipular datos de distribución de la primera componente en base a relaciones físicas intrínsecas entre las componentes primera, segunda y tercera de dicho campo magnético vectorial; y están adaptados para realizar una transformación de Fourier, seguida de la realización de los cálculos basados en las relaciones físicas intrínsecas entre las componentes del campo magnético, seguida de una transformación de Fourier inversa.

45 15. Un programa de ordenador adaptado para realizar el método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13.

50



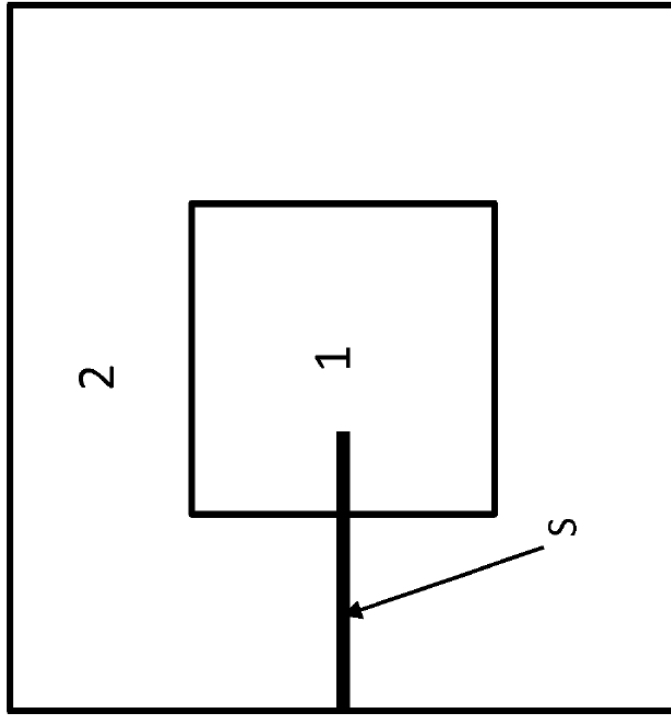


Fig. 1

21	20	21
20	1	20
21	20	21

Fig. 2

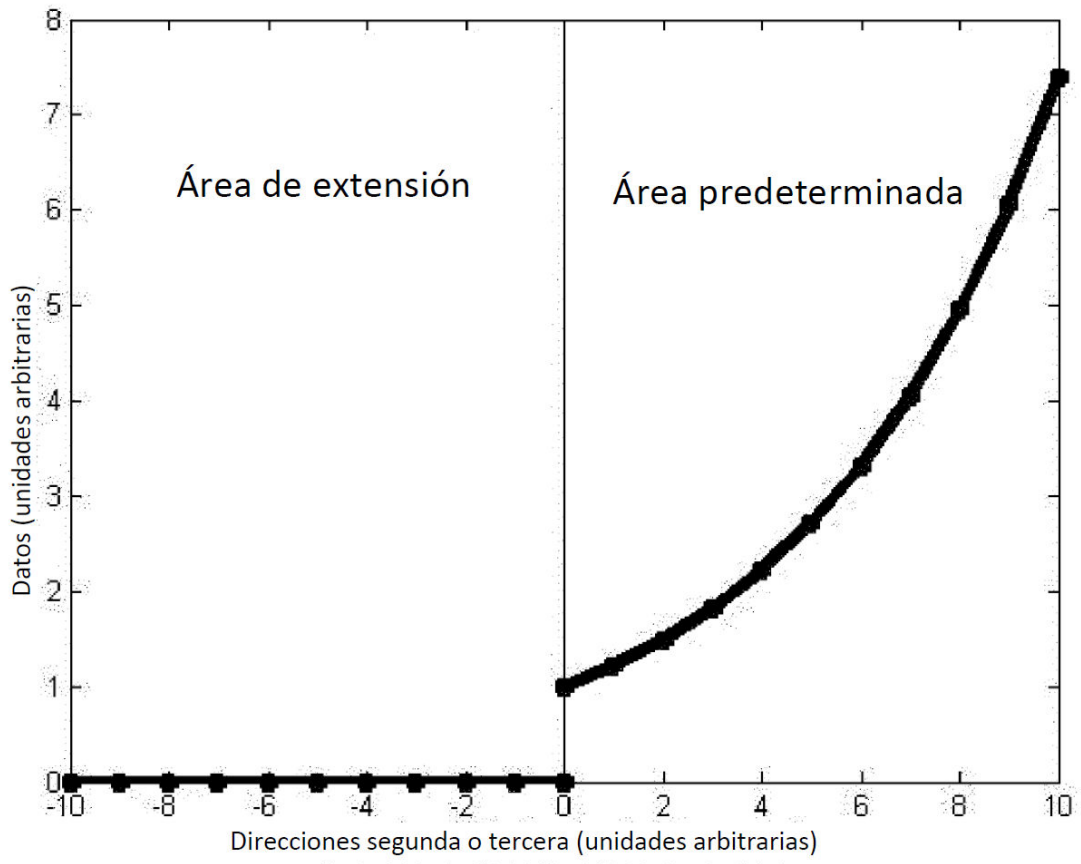


Fig. 3

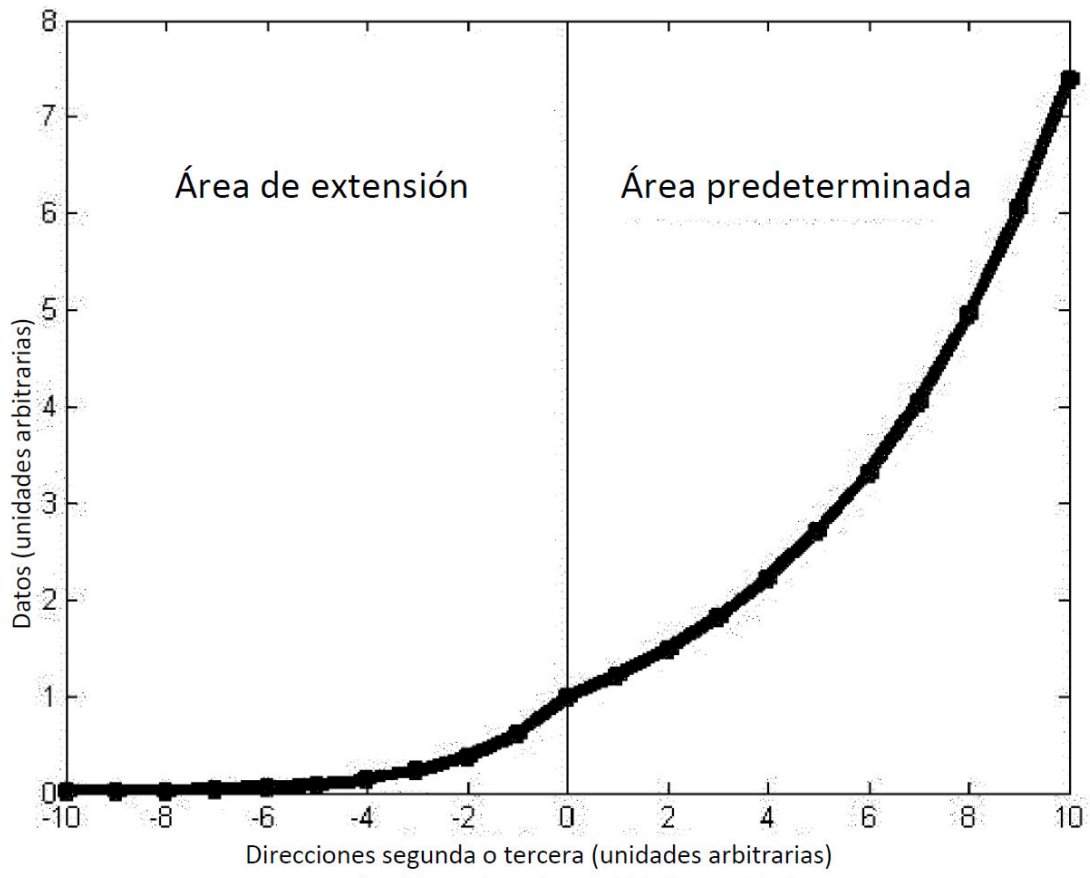


Fig. 4

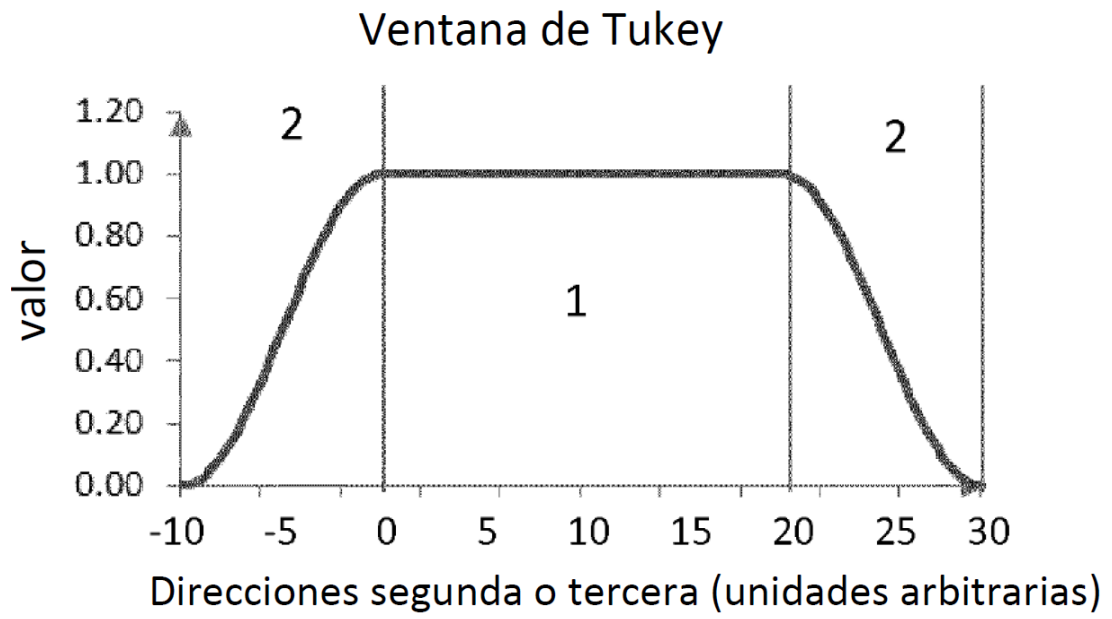


Fig. 5

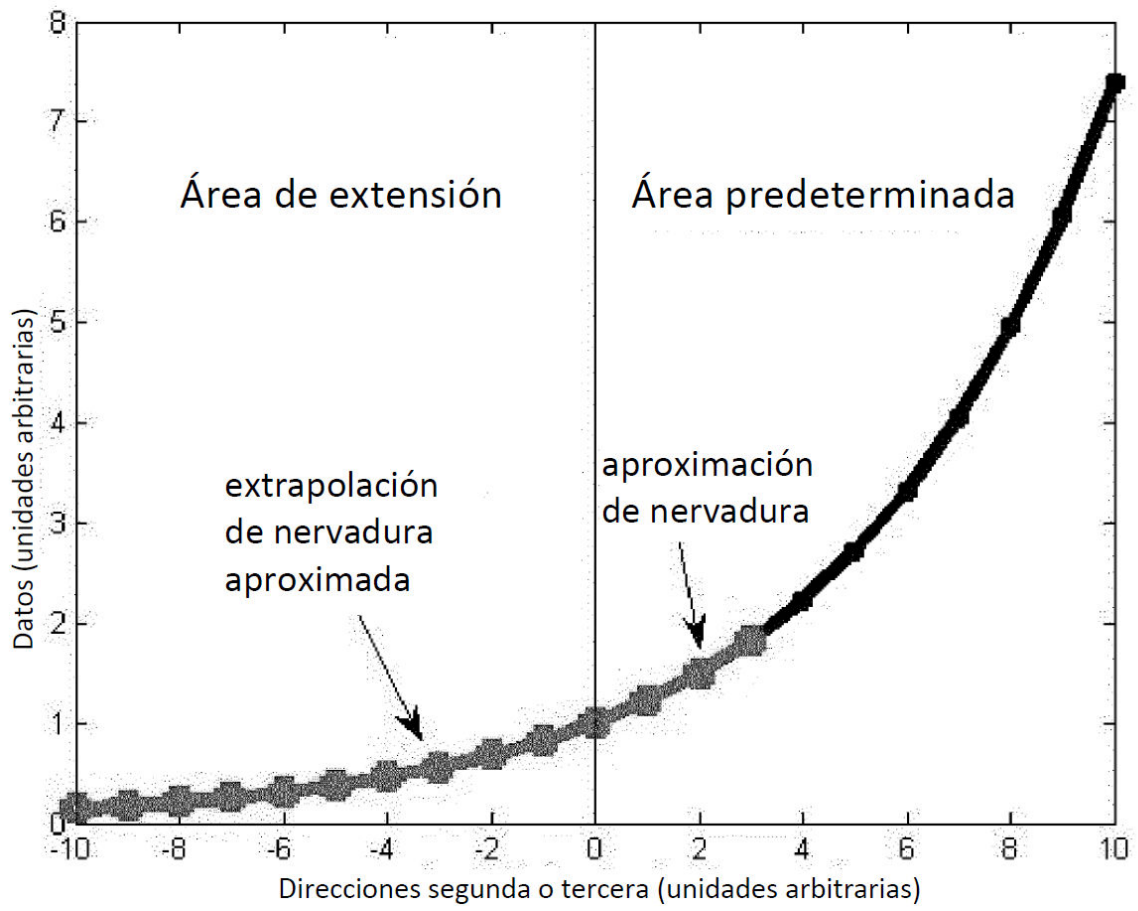


Fig. 6

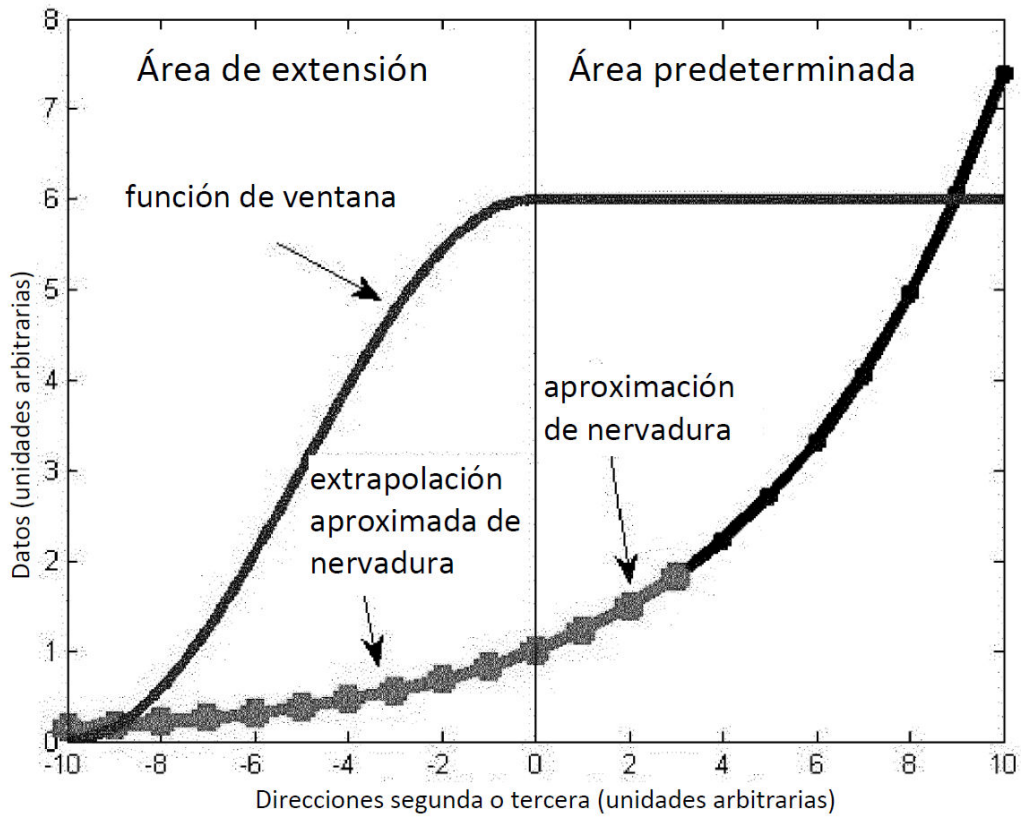


Fig. 7

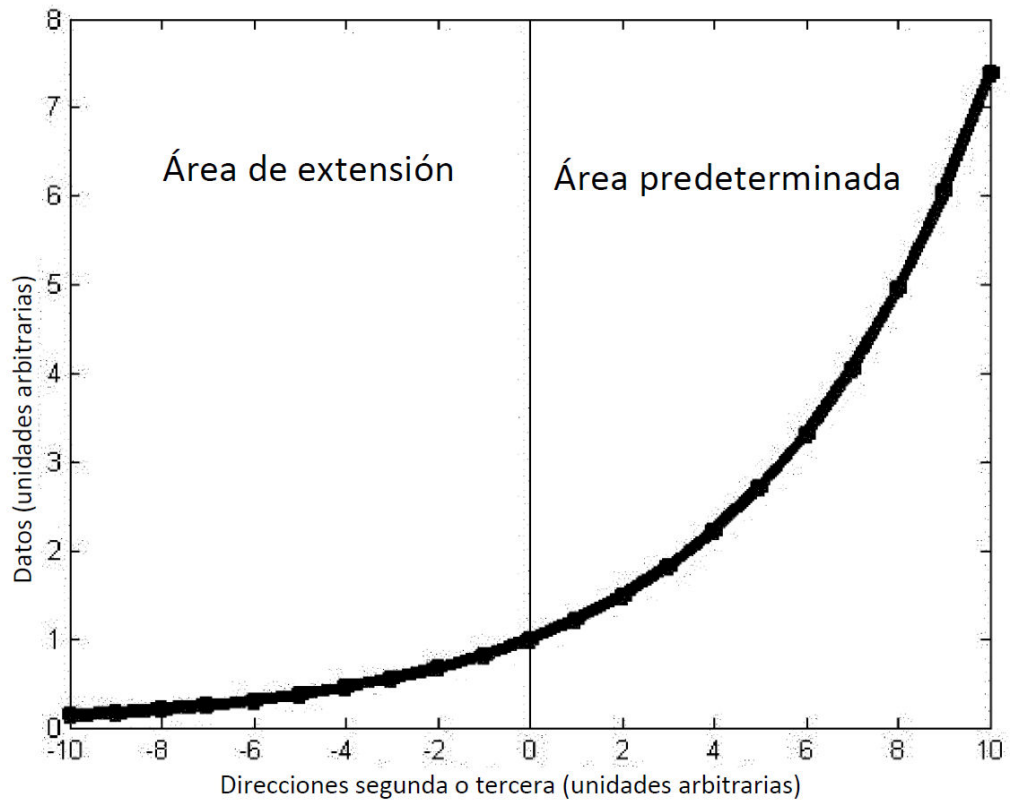


Fig. 8