

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 927 494**

21 Número de solicitud: 202131192

51 Int. Cl.:

G01R 33/16 (2006.01)

G01N 27/72 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

22.12.2021

43 Fecha de publicación de la solicitud:

07.11.2022

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

07.02.2023

Fecha de concesión:

13.07.2023

45 Fecha de publicación de la concesión:

20.07.2023

73 Titular/es:

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID (90.0%)
C/ Ramiro de Maeztu 7
28040 Madrid (Madrid) ES y
INTA, INSTITUTO NACIONAL DE TÉCNICA
AEROSPACIAL (10.0%)

72 Inventor/es:

RIVELLES GARCÍA, Alejandro;
AROCA HERNÁNDEZ-ROS, Claudio;
MAICAS RAMOS, Marco César;
SANZ LLUCH, María Del Mar;
DÍAZ MICHELENA, Marina y
MESA UÑA, Jose Luis

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

54 Título: **Aparato para medir la susceptibilidad magnética de muestras minerales**

57 Resumen:

Aparato para medir la susceptibilidad magnética de muestras (9) minerales, que comprende sendas ramas en forma de U dispuestas simétricas y enfrentadas según una dirección longitudinal del aparato, donde cada una de las ramas en forma de U comprende:

- sendas piezas de hierro (4) enfrentadas a la muestra (9) mineral,

- sendos imanes permanentes (5) localizados a continuación de las piezas de hierro(4),y

- una pieza de hierro en forma de U (6) enfrentada a los imanes permanentes (5),

donde el aparato comprende además un portamuestras (2) localizado entre las piezas de hierro (4) de ambas ramas en forma de U, el portamuestras (2) estando configurado para su giro alrededor de un eje longitudinal del aparato de modo que mediante dicho giro posiciona las muestras (9) longitudinalmente enfrentadas a las piezas de hierro (4).

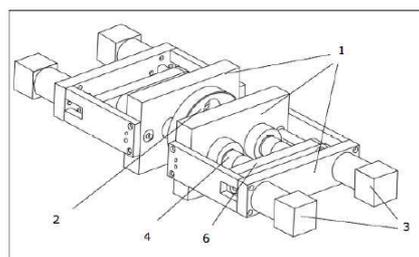


Fig. 1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 927 494 B2

DESCRIPCIÓN

Aparato para medir la susceptibilidad magnética de muestras minerales

5 **Sector de la técnica**

La invención se enmarca en el sector técnico de la instrumentación electrónica, en concreto, en la caracterización de materiales magnéticos. La invención es relativa a un susceptómetro portátil basado en imanes permanentes para la caracterización de
10 minerales magnéticos cuya portabilidad lo hace de especial interés en geofísica.

Antecedentes de la invención

Se explican a continuación los principales sistemas de medida de susceptibilidad
15 magnética que se emplean en el estado de la técnica.

VSM (Vibrating-sample magnetometer)

El principio básico de funcionamiento de un VSM es medir la variación de flujo
20 magnético en una región de campo uniforme al introducirse en ella una muestra. Se describe el principio de funcionamiento en los documentos S. Foner, "Versatile and Sensitive Vibrating-Sample Magnetometer," Rev. Sci. Instrum., vol. 30, no. 7, pp. 548–557, 1959, <https://doi.org/10.1063/1.1716679> y D. Jiles, Introduction to magnetism and magnetic materials, [Repr.]. London [etc.: : Chapman and Hall, 1994.

25

Mediante el uso de electroimanes se genera un campo magnético en la región en la cual se introduce la muestra. El campo B total en la región se deberá al campo producido por el electroimán más el producido por la muestra imanada.

30 En la zona donde se encuentra la muestra se incluye un conjunto de bobinas de medida que, siguiendo la ley de Faraday, permiten medir variaciones de flujo según la fuerza electromotriz inducida en sus bornas.

La muestra se hace vibrar, de modo que ésta se aleja y se acerca de los secundarios
35 de medida. Aparece una variación de flujo en ellos debido a la vibración de la muestra

imanada. Como la frecuencia de vibración es conocida, mediante la integración de la diferencia de potencial en bornas de los secundarios es posible obtener la imanación de la muestra.

5 Para lograr la uniformidad en la región de medida, las piezas polares deben ser mucho más grandes que la muestra a medir, por tanto, el aparato tiende a ser voluminoso y pesado mientras que las muestras deben ser de un tamaño bastante menor que ellas.

10 Por otro lado, como para la generación del campo que imana la muestra se emplean electroimanes, que requieren de grandes corrientes para su funcionamiento, este aparato presenta también un gran consumo y requiere de un sistema de alimentación potente.

AGM (Alternating-gradient magnetometer)

15

El AGM es una variante del VSM que permite sensibilidades alrededor de 100 veces mayores que un VSM convencional con un tamaño parecido. La muestra a analizar se fija en el extremo de una varilla unida a un cantiléver que incorpora un piezoeléctrico.

20 La muestra se imana mediante un campo DC (cuya amplitud se puede variar) y simultáneamente se somete a un pequeño gradiente de campo alterno. Este campo alterno ejerce una fuerza sobre la muestra proporcional al gradiente del campo y a la imanación de la muestra, y como consecuencia de ello la muestra vibra. Estas vibraciones provocan una tensión en el piezoeléctrico que puede ser medida y permite
25 obtener la imanación de la muestra. Se describe el principio de funcionamiento en los documentos G. Asti and M. Solzi, "Alternating field gradient susceptometer," J. Magn. Mater., vol. 157–158, pp. 559–560, 1996, [https://doi.org/10.1016/0304-8853\(95\)01012-2](https://doi.org/10.1016/0304-8853(95)01012-2) y P. J. Flanders, "An alternating-gradient magnetometer (invited)," J. Appl. Phys., vol. 63, no. 8, pp. 3940–3945, 1988, <https://doi.org/10.1063/1.340582>.

30

Sometiendo la muestra a campos alternos con frecuencias próximas a la resonancia del sistema se puede amplificar la tensión medida en el cantiléver. Sin embargo, esto limita también el tamaño de las muestras, ya que si éstas son demasiado grandes pueden variar considerablemente la frecuencia de resonancia del sistema.

35

De nuevo este sistema presenta un gran consumo, un gran tamaño y un gran peso debido a que los campos son igualmente generados mediante electroimanes.

SQUIDS (Superconducting quantum interference devices)

5

Los SQUIDS son los aparatos de medida de campo magnético más precisos hasta la fecha. Estos aparatos consisten en un anillo de superconductor con una pequeña capa aislante que se conoce como unión Josephson o unión débil. Cuando se disminuye la temperatura hasta que el anillo pasa a ser superconductor, el flujo que recorre el mismo está cuantizado, y mediante la unión Josephson se permite que el flujo varíe en pasos discretos. Arrollando una bobina alrededor del anillo es posible medir la tensión inducida en la bobina debida a los saltos cuantizados en el valor del flujo.

10

Si bien este aparato es el más preciso de los comentados, también requiere unas condiciones de medida más sofisticadas, principalmente en términos de temperatura, para que los superconductores pasen al estado de superconducción. Además, también emplea electroimanes para imanar las muestras, por tanto, tampoco está exento de un sistema de alimentación de alta potencia, pesado y voluminoso.

15

20 VSM Con imanes permanentes

Se trata de un modelo más compacto que el VSM convencional donde las fuentes de campo se sustituyen por dos cilindros Halbach contruidos con imanes permanentes. Se describe el principio de funcionamiento en el documento O. Cugat, R. Byrne, J. McCaulay, and J. ~M. ~D. Coey, "A compact vibrating-sample magnetometer with variable permanent magnet flux source," Rev. Sci. Instrum., vol. 65, no. 11, pp. 3570–3573, 1994, <https://doi.org/10.1063/1.1144538>.

25

30 Los cilindros producen un campo uniforme en su interior dado por:

$$B_0 = f \cdot B_r \cdot \ln \left(\frac{R}{r} \right)$$

Donde B_r es la remanencia de los imanes y R y r la relación entre los radios de ambos cilindros. El factor f responde a las no idealidades del sistema de cilindros.

Desplazando el cilindro de fuera con respecto al interior se obtiene un campo dado por

la suma vectorial de los campos debidos a ambos cilindros:

$$\mathbf{B}_0 = \mathbf{B}_1 + \mathbf{B}_2$$

Haciendo que la imanación de ambos cilindros sea la misma, es decir $B_1 = B_2$, se puede
5 obtener campos desde 0 hasta $\pm 2B_1$.

Se han tratado de implementar versiones basadas en los cilindros Halbach más compactos y portables como en el documento P. Stamenov and J. M. D. Coey, "Vector vibrating-sample magnetometer with permanent magnet flux source," *J. Appl. Phys.*,
10 vol. 99, no. 8, p. 08D912, 2006, <https://doi.org/10.1063/1.2170595> donde se llegan a:

- Tamaños máximos de muestra de hasta 100 mm³
- Homogeneidad de campo en un área de 2x2 mm (con variaciones de menos del 2%) y con campos de hasta 0,12 T.
- 15 • Resolución en la variación de campo de alrededor de 1mT.

Actualmente se emplean montajes similares al Halbach como fuentes de campo magnético portátiles, fiables y de bajo consumo. Estos montajes son estructuras cilíndricas huecas fabricadas con matrices de imanes permanentes (HCPMA, *hollow cylindrical permanente magnet array*), en los que se puede alternar los materiales con
20 que se fabrica el cilindro de cara a mejorar sus prestaciones.

Recientemente se han publicado artículos sobre posibles mejoras de esta configuración:

25

- Empleando en la matriz segmentos con alto producto energético, imanes de muy alta coercitividad (de hasta 2T aproximadamente) y hierro blando para mejorar el campo máximo y la uniformidad según se divulga en el documento X. Xu, D. Lu, X. Xu, Y. Yu, and M. Gu, "Optimizing the field distribution of a Halbach type permanent magnet cylinder using the soft iron and superhard magnet," *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 445, pp. 77–83, 2018,
30 <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2017.08.081>.
- Con una capa externa de material de alta permeabilidad.

Explicación de la invención

Tal y como se ha explicado en el apartado de estado de la técnica, los aparatos de medida de susceptibilidad magnética, susceptómetros, actuales basados en el uso de electroimanes para lograr la imanación de las muestras a medir, requieren de grandes fuentes de alimentación debido a su gran consumo, lo cual dificulta su portabilidad y limita el tamaño de las muestras.

El susceptómetro basado en cilindros Hallbach no emplea electroimanes para la imanación de las muestras, con lo que reduce el consumo del aparato. No obstante, sí limita el tamaño de las muestras a muestras pequeñas marcadas por las regiones donde el campo es uniforme.

La invención permite la caracterización magnética de minerales mediante un dispositivo portátil que permite llevarlas a cabo "in-situ". Con el fin de permitir un dispositivo portátil, el aparato objeto de la invención sustituye los electroimanes de los susceptómetros habituales por un montaje basado en imanes permanentes y un circuito magnético.

Con todo ello, la presente invención consiste en un sistema de instrumentación portátil, que permite medir la susceptibilidad magnética de muestras minerales in-situ. Además, las muestras podrán tener un tamaño superior al que es posible utilizar en los aparatos del estado de la técnica.

El aparato para medir la susceptibilidad magnética de muestras minerales objeto de la invención comprende sendas ramas en forma de U dispuestas simétricas y enfrentadas según una dirección longitudinal del aparato, donde cada una de las ramas en forma de U comprende:

- sendas piezas de hierro que comprenden un primer y un segundo extremo longitudinal y configuradas para estar enfrentadas en el primer extremo longitudinal a la muestra mineral,
- sendos imanes permanentes localizados a continuación de las piezas de hierro según la dirección longitudinal del aparato que comprenden un

primer y un segundo extremo longitudinal y que disponen su primer extremo longitudinal enfrentado al segundo extremo longitudinal de las piezas de hierro, y

- 5 - una pieza de hierro en forma de U que comprende una platabanda colocada en sentido transversal y sendos salientes enfrentados al segundo extremo longitudinal de los imanes permanentes.

10 El aparato comprende además un portamuestras localizado entre las piezas de hierro de ambas ramas en forma de U. El portamuestras está configurado para su giro alrededor de un eje longitudinal del aparato de modo que mediante dicho giro posiciona las muestras longitudinalmente enfrentadas a las piezas de hierro.

El aparato objeto de la invención permite:

15

- generar el campo con que se imanar las muestras mediante imanes permanentes, por ejemplo, de NdFeB (imán de neodimio), y un circuito magnético de hierro blando, lo cual reduce enormemente el consumo del aparato con respecto a los susceptómetros basados en electroimanes.

20

- ser un dispositivo portátil que permite la caracterización de muestras in-situ.
- medir la imanación de las muestras mediante un portamuestras giratorio de fácil acceso donde las muestras entran y salen de las regiones de medida mediante movimientos circulares.

25

La presente invención se refiere a un susceptómetro capaz de medir muestras con forma cilíndrica de hasta 20mm de diámetro x 20mm de altura, o con geometrías arbitrarias siempre y cuando queden contenidas dentro de la región cilíndrica de 20mm x 20mm. De este modo se logran campos para imanar dichas muestras de hasta 0,13 T (con una desviación máxima de un 5% en los límites de la región) y con un consumo

30

bajo, lo cual permite un aparato portátil.

35

El susceptómetro objeto de la invención emplea un conjunto de imanes permanentes para la generación de campo. A diferencia del modelo basado en los cilindros Hallbach, el susceptómetro integra los imanes dentro de una estructura de hierro blando, es decir, de alta permeabilidad magnética, formando un circuito magnético. Esto permite

encaminar el flujo magnético en su interior.

El circuito magnético completo se compone de tres elementos. Las piezas centrales de hierro, los imanes, preferentemente cilíndricos, y las piezas finales de hierro en forma de U. Las piezas en forma de U encaminan el flujo magnético de modo que éste queda confinado en el interior del circuito magnético.

Las piezas centrales de hierro se fijan sobre una estructura fabricada con un material no magnético de modo que quedan en posiciones fijas.

10

Estas piezas presentan dos aberturas, las cuales permiten introducir las muestras que se desea imanar. Para lograr un campo uniforme en la región donde se introducen las muestras, las piezas centrales de hierro se fabrican formando una cavidad esférica, de modo que los polos magnéticos se distribuyen creando un campo uniforme en el interior de la apertura.

15

Mediante el desplazamiento de las piezas en forma de U es posible variar el campo con que se imanar las muestras. Debido a su geometría, el cierre de flujo es mejor por las piezas en forma de U, de modo que al separarlas de las piezas centrales los imanes quedan pegados a la estructura en forma de U. La posición que permite mayor campo es la que coloca los imanes pegados a las piezas de hierro centrales. Partiendo de esa posición, a medida que se separan los imanes de las piezas de hierro centrales, aumenta el hueco de aire entre ambas, lo cual aumenta la reluctancia del circuito magnético, disminuyendo el flujo en su interior y con ello el campo magnético. Esto trae consigo una variación en el flujo y con ello una variación en el campo magnético en el interior de las cavidades de las piezas de hierro donde se sitúan las muestras.

20

25

Las muestras se introducen en un portamuestras, preferentemente de forma circular, por ejemplo, en una de las cuatro aberturas cilíndricas. Mediante el giro del portamuestras, las muestras entran y salen de las cavidades esféricas de las piezas de hierro.

30

En un ejemplo de realización, en el interior de dichas cavidades esféricas, justo delante de cada una de las piezas de hierro, se incluyen arrollamientos circulares, uno delante de cada pieza metálica. Al entrar y salir las muestras de las cavidades esféricas se

35

induce una fuerza electromotriz en los arrollamientos debida a la variación de flujo, dada por la ley de Faraday. Este efecto permite la medida de la imanación de las muestras para cada valor de campo de imanación:

$$5 \quad \varepsilon = V = -N \frac{d\phi}{dt} = -NA \frac{dB}{dt}$$

Donde \mathcal{E} es la fuerza electromotriz que aparece en los arrollamientos, N es el número de vueltas de los arrollamientos, A es el área de los arrollamientos y B es el campo que atraviesa el área contenida por los arrollamientos.

10

Mediante una integración de esta fuerza electromotriz a lo largo del tiempo se consigue obtener un voltaje que se relaciona directamente con la variación de B a través de las espiras, es decir, con la variación de B que produce la muestra al entrar y salir de la cavidad, con lo que podemos obtener su imanación:

15

$$\int V dt = - \int NA \frac{dB}{dt} = -NA(B_f - B_i) = -NA\Delta B$$

Breve descripción de los dibujos

20

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

25

Figura 1.- Muestra una vista en perspectiva de un ejemplo de realización del dispositivo objeto de la invención.

30

Figura 2.- Muestra una vista superior esquemática del dispositivo de la figura 1 con los elementos que constituyen el circuito magnético y sin la estructura soporte.

Figura 3.- Muestra una vista en perspectiva de los elementos visualizados en la figura 2 que constituyen el circuito magnético.

35

Figura 4.- Muestra una vista en perspectiva y una vista esquemática lateral de las

piezas de hierro.

Figura 5.- Muestra un vista en planta esquemática de las piezas de hierro con su
cavidad y enfrentadas, una muestra localizada entre dichas piezas de hierro y unos
5 secundarios de medida .

Figura 6.- Muestra una vista en planta de un ejemplo de realización del portamuestras.

Realización preferente de la invención

10

La figura 1 muestra una perspectiva de un ejemplo de realización del aparato objeto
de la invención que comprende:

sendas ramas en forma de U dispuestas simétricas y enfrentadas según una dirección
15 longitudinal del aparato, donde cada una de las ramas en forma de U comprende:

- sendas piezas de hierro (4) que comprenden un primer y un segundo
extremo longitudinal y configuradas para estar enfrentadas en el primer
extremo longitudinal a la muestra (9) mineral,

20

- sendos imanes permanentes (5) localizados a continuación de las piezas
de hierro (4) según la dirección longitudinal del aparato que comprenden un
primer y un segundo extremo longitudinal y que disponen su primer extremo
longitudinal enfrentado al segundo extremo longitudinal de las piezas de
25 hierro (4), y

25

- una pieza de hierro en forma de U (6) que comprende una platabanda (6.2)
colocada en sentido transversal y sendos salientes (6.1) enfrentados al
segundo extremo longitudinal de los imanes permanentes (5),

30

un portamuestras (2) localizado entre las piezas de hierro (4) de ambas ramas en forma
de U, el portamuestras (2) estando configurado para su giro alrededor de un eje
longitudinal del aparato de modo que mediante dicho giro posiciona las muestras (9)
longitudinalmente enfrentadas a las piezas de hierro (4).

35

El ejemplo de realización mostrado comprende, además:

- 5
- una estructura soporte (1) de material no magnético. A esta estructura soporte (1) se fijan el resto de elementos del aparato, de modo que actúa como soporte central del sistema. Se fabrica con un material no magnético para no perturbar el campo en el circuito magnético.

10 Las piezas de hierro (4) están fijadas a dicha estructura soporte (1) y las piezas en forma de U (6) son deslizables longitudinalmente respecto a dicha estructura soporte (1).

15 Adicionalmente, en el ejemplo mostrado el portamuestras (2) se fija a la estructura soporte (1) mediante un eje, de modo que puede girar permitiendo introducir o extraer las muestras (9) de unas cavidades (4.1) esféricas que presenta el circuito magnético, donde las muestras (9) se imanán.

- 20
- al menos un motor (3). El ejemplo de realización mostrado comprende cuatro motores (3) que permiten desplazar las piezas en forma de U (6) respecto de la estructura soporte (1), de modo que los imanes permanentes (5) están configurados para acompañar el desplazamiento de las piezas en forma de U (6) y variar su distancia respecto a las piezas de hierro (4) del circuito magnético, de modo que se logre controlar la intensidad del campo.

25 Por lo tanto, en un ejemplo de realización, el aparato comprende medios para variar la distancia en sentido longitudinal entre las piezas de hierro (4) y los imanes permanentes (5) de modo que se logra una variación en el campo magnético generado mediante el control de la separación entre los imanes permanentes (5) y las piezas de hierro (4).

30 En la figura 2 se muestra una vista superior del dispositivo donde se han resaltado exclusivamente los componentes del circuito magnético:

35 Piezas de hierro (4). Estas piezas de hierro (4) se fabrican con la cara que apunta hacia el portamuestras (2) formando una cavidad (4.1) para la introducción de muestras (9). Más específicamente, las cavidades (4.1) son esféricas de modo que se

logre un campo uniforme en la región de medida.

En el ejemplo de realización mostrado las piezas de hierro (4) quedan fijas a la estructura soporte (1) fabricada con el material no magnético.

5

En la figura 2 se ha representado la sección de estas piezas por un plano que corta la pieza por su eje central, de modo que la cavidad (4.1) esférica queda visible.

10 Los imanes permanentes (5) permiten la generación de campo en el circuito magnético y las piezas en forma de U (6) cierran el circuito magnético, encaminando el flujo de forma circular.

15 La figura 4 muestra una vista en perspectiva y una vista lateral esquemática de cada una de las piezas de hierro (4) que se fabrican con el extremo que apunta al portamuestras (2) en forma de semiesfera de modo que se forma una cavidad (4.1) esférica entre el par de piezas de hierro (4).

20 La figura 5 ilustra la posición de la muestra (9) , las piezas de hierro (4) y los secundarios de medida (8) cuando se realizan las medidas.

En la figura 6 se muestra el portamuestras (2) que se fija a la estructura soporte (1) mediante un eje (10) que permite su giro. El portamuestras (2) comprende al menos una abertura cilíndrica (11) para introducir las muestras (9) a medir que permite
25 introducir las muestras (9) en las regiones de medida mediante movimientos circulares del portamuestras (2). En el ejemplo mostrado el portamuestras (2) es circular y presenta cuatro aberturas cilíndricas (11).

El sistema debe ser capaz de medir la imanación de muestras (9) de las dimensiones
30 especificadas y de imanar éstas mediante un circuito magnético pasivo. En las figuras se representa un ejemplo de realización con las siguientes características:

- Los imanes permanentes (5) del circuito magnético son de NdFeB con un producto $BH_{max} = 38$ MGOe de forma cilíndrica con unas dimensiones de 20
35 mm de largo por 30 mm de diámetro.

- 5

Las piezas de hierro (4) están fabricadas con hierro blando de alta permeabilidad. En un ejemplo de realización, las piezas de hierro (4) están fabricadas siguiendo el plano de la figura 4. Por otro lado, la pieza de hierro con forma de U (6), la cual se puede apreciar en la figura 2, presenta dos salientes (6.1) cilíndricos de las mismas dimensiones que los imanes permanentes (5), 20mm de altura por 30mm de diámetro, donde se junta con los imanes permanentes (5). Dichos salientes (6.1) continúan en una platabanda (6.2) con un grosor de 20 mm. Esta platabanda (6.2) presenta dos ranuras roscadas en los laterales que se acoplan a dos varillas roscadas, las

10

cuales permiten el desplazamiento de las piezas de hierro (4) aproximando o alejando el conjunto de los imanes permanentes (5) y la pieza en forma de U (6) a las piezas de hierro (4).
- 15

Para desplazar las piezas de hierro (4) se han empleado cuatro motores (3) paso a paso. Estos motores (3) son capaces de aplicar un par de hasta 15 Nm cada uno manteniendo un consumo de pico bajo gracias a su desmultiplicación. La desmultiplicación de los motores (3) permite también un control de campo muy preciso.
- 20

La estructura soporte (1) del susceptómetro se ha fabricado con materiales no magnéticos. Por un lado, la estructura que sujeta los motores (3) se ha fabricado en aluminio. Por otro lado, la estructura central, con una forma rectangular que presenta unas dimensiones de 110mm x 180mm con una profundidad de 30mm está fabricada en PVC y es donde se acoplan los diferentes componentes del susceptómetro, tal y como se aprecia en la figura 1.
- 25

El portamuestras (2) se ha fabricado en plástico, con un diámetro total de 118 mm y una profundidad de 20 mm y presenta aberturas cilíndricas (11) de 20 mm de diámetro x 20 mm de alto donde irán alojadas las muestras (9). Las aberturas cilíndricas (11) se encuentran alineadas con las piezas de hierro (4) cilíndricas y con los imanes permanentes (5), de modo que la muestra (9) que se encuentre dentro del portamuestras (2), al desplazar éste, queda completamente dentro de la cavidad esférica (4.1) formada por las piezas de

30

hierro (4). El portamuestras (2) se acopla a la pieza central de PVC de la estructura soporte (1) mediante una varilla de aluminio con unos rodamientos de plástico que permiten el giro del portamuestras (2).
- 35

Para girar de forma controlada el portamuestras (2) se ha acoplado una

estructura de plástico a la estructura central de PVC, lo cual permite sujetar un motor paso a paso conectado a una correa. La correa hace girar el portamuestras (2) mediante el giro. En este caso el motor (3) paso a paso tiene un requerimiento más laxo respecto al par ya que solo tendrá que mover el portamuestras (2) de plástico con la muestra en su interior.

- 5
 - 10
 - 15
 - 20
 - 25
 - 30
 - 35
- Sobre las cavidades (4.1) esféricas de las piezas de hierro (4) se han acoplado unos recubrimientos finos de plástico, que no afectan a la uniformidad del campo en el interior, para permitir arrollar a su alrededor los arrollamiento secundarios (8) que permiten la medida de la imanación de las muestras (9). Estos arrollamientos secundarios (8) están formados cada uno por un conjunto de 100 vueltas de hilo de cobre de 0,1 mm de grosor con un recubrimiento para evitar el contacto. Los cuatro carretes se conectan en serie entre sí, es decir, con el mismo sentido de arrollamiento y las bornas del conjunto se acoplan a un conector coaxial hembra de salida.
 - En una de las cavidades (4.1) esféricas se ha incluido una pequeña sonda hall de precisión de forma cuadrada de aproximadamente 3mm² de área y 0,5mm de ancho. Esta sonda permite medir el campo con que se imanán las muestras (9) y, junto con los motores (3), un control preciso del campo de imanación.
 - El susceptómetro se controla mediante un PC con una interfaz dedicada desarrollada en visual Basic, la cual se comunica con tres microcontroladores, para los cuales se han usado los modelos pic16F887, encargados de controlar los distintos componentes del sistema.
 - Por un lado, tiene un microcontrolador encargado del control de los cuatro motores (3), los cuales se alimentan mediante los drivers de potencia L289.
 - Existe otro microcontrolador encargado de las mediciones de la sonda hall. La salida de la sonda hall se conecta a una placa dedicada que incluye un amplificador de instrumentación y varias etapas de amplificación y acondicionamiento, permitiendo una lectura precisa mediante el microcontrolador.
 - Por último, el tercer microcontrolador se encarga del movimiento del portamuestras (2), mediante un motor paso a paso alimentado a través de un driver L298, y de la lectura de las medidas provenientes de los arrollamientos secundarios (8), en definitiva, de la medida de imanación de las muestras (9). La salida de los arrollamientos secundarios (8) va conectada a un integrador analógico, el cual continúa con un conjunto de etapas de amplificación y

acondicionamiento, permitiendo una lectura precisa de la medida. El integrador permite una medida directa de la imanación de la muestra (9).

El proceso de medida consta de dos tipos de movimientos:

5

Por un lado, el movimiento de 90 grados, en el cual la muestra (9) parte de la posición superior del portamuestras (2) y se desplaza 90 grados hasta quedar dentro de la cavidad esférica (4.1) donde se imana. Posteriormente se desplaza 90 grados en la dirección opuesta, quedando la muestra (9) de nuevo en la posición inicial. Un integrador integra de forma separada el recorrido de 90 grados introduciendo la muestra (9) y el de 90 grados extrayendo la muestra (9), y posteriormente se calcula la diferencia entre ambos. Esta diferencia es proporcional a la imanación de la muestra (9), y proporciona el doble de señal que uno solo de los movimientos por separado.

10

15

Por otro lado, el movimiento de 180 grados. La muestra (9) parte de una de las posiciones laterales, en el interior de una de las cavidades (4.1) esféricas donde queda imanada. Se desplaza el portamuestras (2) 180 grados hasta la cavidad esférica (4.1) opuesta, imanando la muestra (9) con un campo de la misma magnitud, pero de sentido contrario y posteriormente se desplaza de vuelta a la posición inicial. De nuevo se integra de forma separada ambos movimientos, y posteriormente se calcula la diferencia entre ambos. Esta diferencia es proporcional a la imanación de la muestra (9), y proporciona el doble de señal que uno solo de los movimientos por separado. La señal total que proporciona este movimiento es el doble que la que proporciona el movimiento de 90 y, por tanto, permite medir muestras (9) con más sensibilidad.

20

25

El susceptómetro se calibra con una bobina de geometría cilíndrica y con las dimensiones máximas que las muestras y un número de vueltas conocido. De modo que controlando la corriente a través del arrollamiento se pueden obtener distintos momentos magnéticos conocidos.

30

El resultado final es un susceptómetro, que, mediante un circuito pasivo es capaz de imanar las muestras (9) con campos de hasta 0,13 T con una no uniformidad menor al 6% en la región donde se alojan las muestras. El control de campo permite una resolución de 0,05 mT en la variación de campo, con una imprecisión del 1%. El tamaño de las muestras queda limitado a las dimensiones de las aberturas cilíndricas

35

del portamuestras (2), de 20 mm de largo por 20 mm de diámetro, en el ejemplo de realización mostrado.

5 Mediante este aparato se ha logrado medir imanaciones de diferentes muestras (9) minerales de prospección, así como muestras de ferrita de concentraciones conocidas preparadas en un laboratorio.

10 El susceptómetro se caracteriza por ser un sistema pasivo generador de campo magnético uniforme de hasta 0.13T con variaciones máximas de campo magnético inferiores al 6% en un volumen de alrededor de 6000 mm³, en la cavidad esférica (4.1).

15 Alternativamente, el susceptómetro se caracteriza por ser un sistema pasivo generador de campo magnético uniforme de hasta 0.13T con variaciones máximas de campo magnético inferiores al 1% en un volumen de 300 mm³.

20 El susceptómetro es portable, logrando, mediante el sistema pasivo de generación de campo magnético descrito un consumo reducido, menor de 5 W durante el proceso de medida de las muestras (9). Alternativamente, puede presentar picos de consumo máximos de 25 W cuando se modifica el campo magnético con que se imanar las muestras (9).

25 Teniendo en cuenta todo lo anterior, las aportaciones principales del dispositivo objeto de la invención se basan en que, siendo un equipo portátil:

- Genera campos magnéticos que permiten trabajar en el rango de [0.032 - 0.13] T
- Tiene un consumo reducido alrededor de los 4W en estático con picos puntuales de 24 W cuando se varía el campo con que se imanar las muestras.
- 30 • Gracias a su bajo consumo, puede ser alimentado con baterías portátiles, lo cual lo hace portátil.
- Permite la caracterización de muestras de grandes dimensiones (forma cilíndrica hasta 20 mm de longitud y 20 mm de diámetro)
- Las muestras (9) se imanar con campos magnéticos homogéneos en
- 35 volúmenes grandes (con una desviación <6% en volúmenes de 6000mm³).

- Posee una sensibilidad superior a 0,22 emu.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Aparato para medir la susceptibilidad magnética de muestras (9) minerales, caracterizado porque comprende sendas ramas en forma de U dispuestas simétricas y enfrentadas según una dirección longitudinal del aparato, donde cada una de las ramas en forma de U comprende:
- sendas piezas de hierro (4) que comprenden un primer y un segundo extremo longitudinal y configuradas para estar enfrentadas en el primer extremo longitudinal a la muestra (9) mineral,
 - 10 - sendos imanes permanentes (5) localizados a continuación de las piezas de hierro (4) según la dirección longitudinal del aparato que comprenden un primer y un segundo extremo longitudinal y que disponen su primer extremo longitudinal enfrentado al segundo extremo longitudinal de las piezas de hierro (4), y
 - 15 - una pieza de hierro en forma de U (6) que comprende una platabanda (6.2) colocada en sentido transversal y sendos salientes (6.1) enfrentados al segundo extremo longitudinal de los imanes permanentes (5),
- donde las piezas de hierro (4) comprenden, además, en su primer extremo longitudinal, una cavidad (4.1) para la introducción de las muestras (9), y cuatro
- 20 arrollamientos secundarios (8) circulares, uno en cada uno de los laterales de las cavidades (4.1) para la medida de la imanación de las muestras (9) a través de la fuerza electromotriz que se induce en ellos debido al movimiento de las muestras (9),
- donde el aparato comprende además un portamuestras (2) localizado entre las
- 25 piezas de hierro (4) de ambas ramas en forma de U, el portamuestras (2) estando configurado para su giro alrededor de un eje longitudinal del aparato de modo que mediante dicho giro posiciona las muestras (9) longitudinalmente enfrentadas a las piezas de hierro (4), y
- donde el aparato comprende medios para variar la distancia en sentido
- 30 longitudinal entre las piezas de hierro (4) y los imanes permanentes (5) de modo que se logra una variación en el campo magnético generado mediante el control de la separación entre los imanes permanentes (5) y las piezas de hierro (4).
- 35 2. Aparato para medir la susceptibilidad magnética de muestras minerales, según la reivindicación 1, caracterizado por que los imanes permanentes

(5) son de NdFeB y las piezas de hierro (4) son de hierro blando, conformando un circuito magnético.

- 5
3. Aparato para medir la susceptibilidad magnética de muestras minerales, según la reivindicación 1, caracterizado por que las cavidades (4.1) para la introducción de las muestras (9) presentan una geometría esférica con lo que se consigue un campo uniforme en su interior.
- 10
4. Aparato para medir la susceptibilidad magnética de muestras minerales, según la reivindicación 3, caracterizado por que las cavidades (4.1) presentan unas dimensiones máximas contenidas en una región cilíndrica de hasta 20 mm de longitud y 20 mm de diámetro.
- 15
5. Aparato para medir la susceptibilidad magnética de muestras minerales, según la reivindicación 1, caracterizado porque comprende adicionalmente:
- 20
- una estructura soporte (1) de material no magnético, las piezas de hierro (4) estando fijadas a dicha estructura soporte (1) y las piezas en forma de U (6) siendo deslizables longitudinalmente respecto a dicha estructura soporte (1), y
 - un motor (3) configurado para desplazar linealmente las piezas en forma de U (6) respecto de la estructura soporte (1), de modo que los imanes permanentes (5) están configurados para acompañar el desplazamiento de las piezas en forma de U (6) y variar su distancia respecto a las piezas de hierro (4).
- 25
6. Aparato para medir la susceptibilidad magnética de muestras minerales, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende una batería portátil para su alimentación.
- 30
7. Aparato para medir la susceptibilidad magnética de muestras minerales, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el portamuestras (2) comprende al menos una abertura cilíndrica (11) para la introducción de las muestras (9) a medir.

8. Aparato para medir la susceptibilidad magnética de muestras minerales, según la reivindicación 7, caracterizado porque el portamuestras (2) es circular y comprende cuatro aberturas cilíndricas (11).

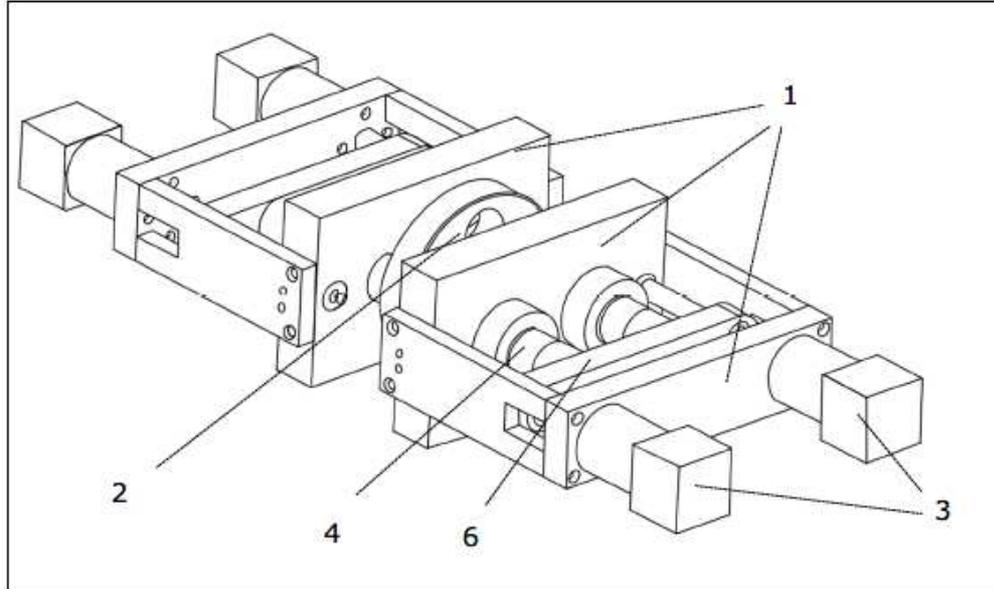


Fig. 1

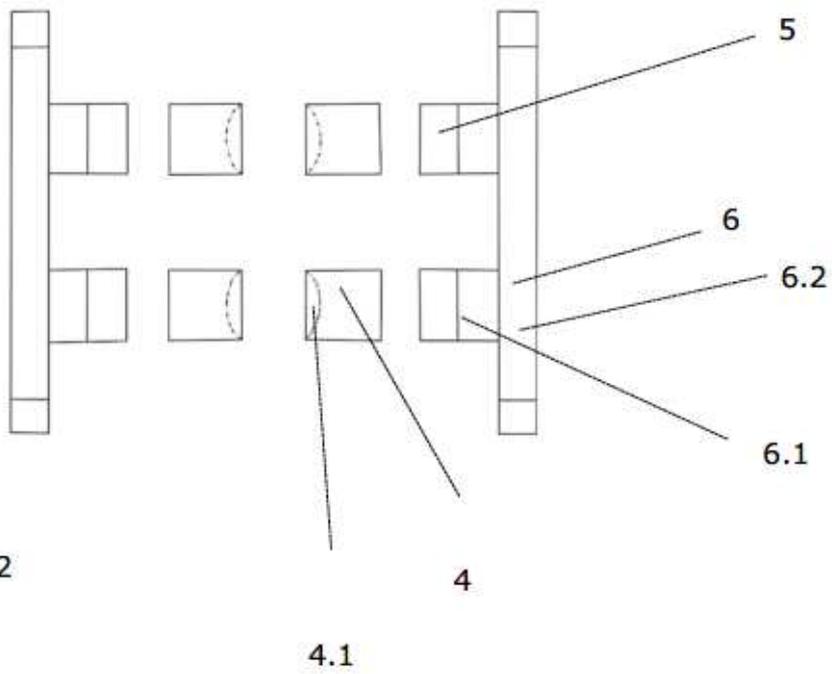


Fig. 2

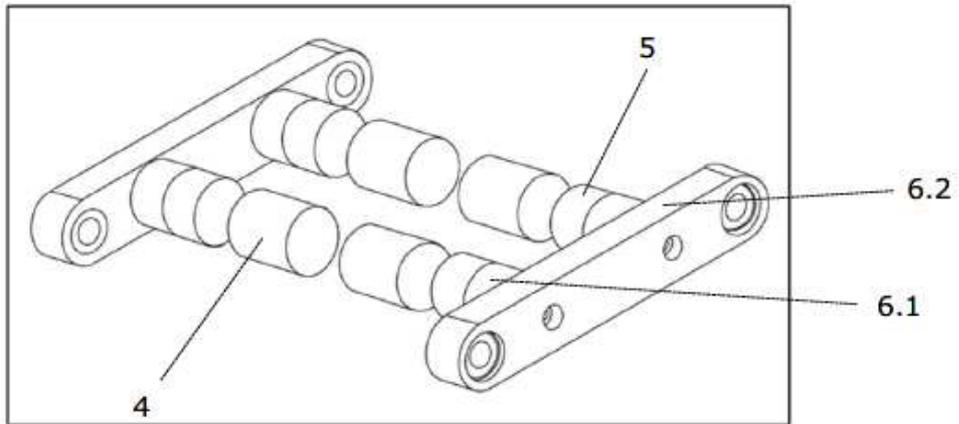


Fig. 3

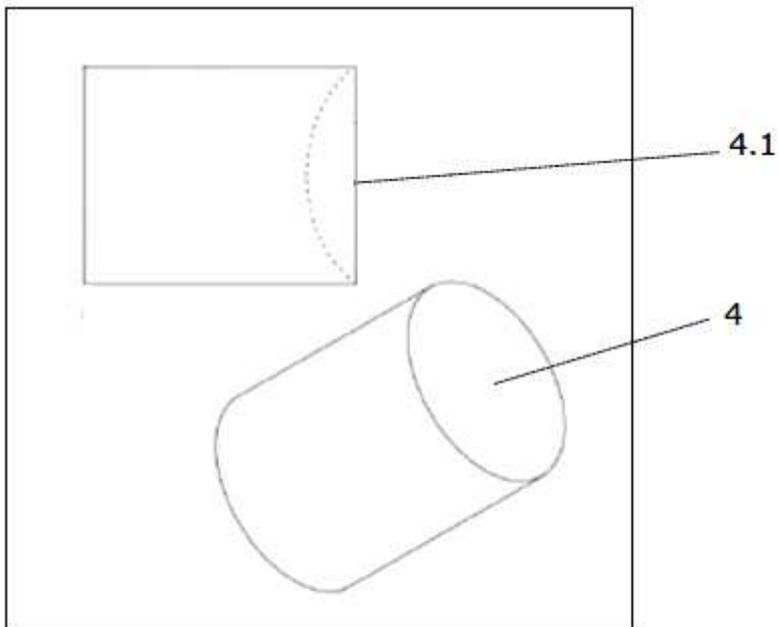


Fig. 4

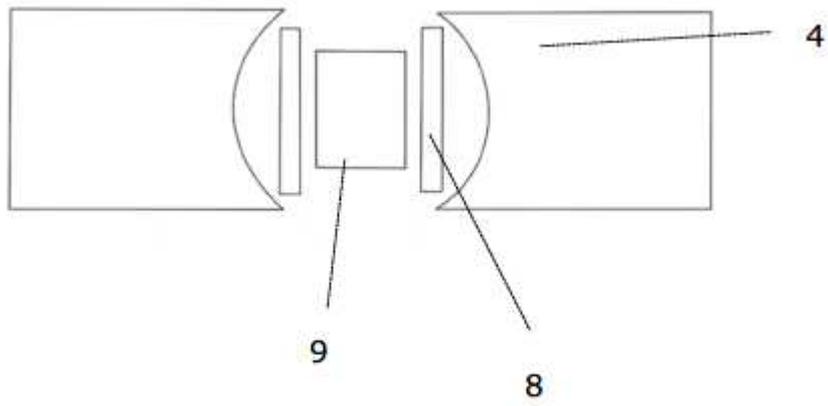


Fig. 5

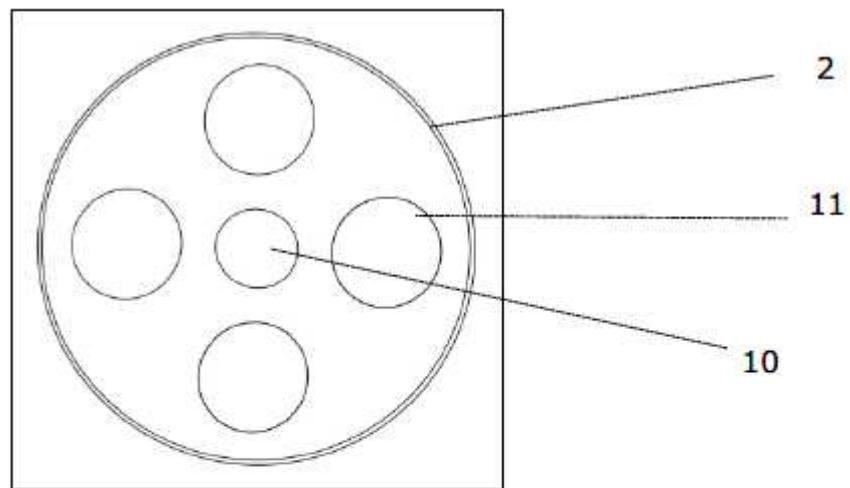


Fig. 6