

MEMORIA DESCRIPTIVA DE LA PATENTE DE INVENCION

SOBRE

**“MAGNETÓMETRO CRIOGÉNICO Y MÉTODO PARA LA MEDICIÓN DEL
MAGNETISMO REMANENTE NATURAL EN MUESTRAS DE ROCAS NATURALES”**

SOLICITADA POR:

**CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS (CONICET) (33,34)
COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA (CNEA) (33,33%)
LA. TE ANDES SOCIEDAD ANÓNIMA (33,33%)**

CON DOMICILIO EN:

**Godoy Cruz 2290 Piso 10, C1425FQB Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
Av. del Libertador 8250, 1429 Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
Las Moreras 510, 4401 Vaqueros Prov. de Salta, Argentina**

PRIORIDAD

Solicitud US 63/061,468 del 05 de agosto de 2020

INVENTORES

Victor CORREA : Martín García 3735, R8403FFM Barrio Las Victorias, S.C. de Bariloche Prov. de Río Negro, Argentina

Julio GUIMPEL: Lonquimay 4085, R8402BEQ S.C. de Bariloche Prov. de Río Negro, Argentina

Pablo PEDRAZZINI , Calle 9 N° 519, 8400 Barrio Casa de Piedra, S.C. de Bariloche Prov. de Río Negro, Argentina

Marcelo VASQUEZ MANSILLA : 20 de febrero 775, 1er piso, depto. 107, 8400 S. C. de Bariloche Prov. de Río Negro, Argentina

Javier LUZURIAGA: Maniu 7825, 8400 S.C. de Bariloche Prov. de Río Negro, Argentina

Mariano GÓMEZ BERISSO : Pioneros 7385, 8400 San Carlos de Bariloche Provincia de Río Negro, Argentina

Nicolas HERNANDEZ : Brazo Huemul 13626, 8400, San Carlos de Bariloche Prov. de Río Negro, Argentina

POR EL PLAZO DE 20 AÑOS

MAGNETÓMETRO CRIOGÉNICO Y MÉTODO PARA LA MEDICIÓN DEL MAGNETISMO REMANENTE NATURAL EN MUESTRAS DE ROCAS NATURALES

Área de la invención

[0001] La presente invención se relaciona con el área de dispositivos para la medición de propiedades magnéticas. Más particularmente, la presente invención está relacionada a un magnetómetro criogénico y un método que utiliza el mismo para la medición del magnetismo remanente natural en muestras de rocas naturales útiles en estudios de paleomagnetismo.

Antecedentes de la invención

[0002] Es bien sabido que los estudios de paleomagnetismo son muy útiles para obtener información valiosa del campo magnético terrestre, el cual por diversos procesos físico-químicos queda registrado en rocas. De este modo, el hecho de poder medir el campo magnético en rocas es muy beneficioso para industrias, tal como la industria petrolera, ya que el magnetismo remanente natural en dichas rocas puede contener información clave sobre las formaciones de petróleo y las trampas geológicas que lo arraigan, pudiéndose reducir considerablemente costos de inversión.

[0003] Existen en el estado de la técnica dispositivos que permiten medir la magnetización en muestras de diferentes materiales, entre ellos rocas naturales. Entre dichos dispositivos se encuentran los magnetómetros, los cuales, para el estudio de muestras de paleomagnetismo, presentan condiciones de diseño exigentes que usualmente colisionan entre sí. Los estudios de paleomagnetismo típicamente involucran la medición de cientos de especímenes, usualmente aplicando entre 10 y 20 pasos de desmagnetización parcial en cada uno. La automatización del sistema de medición resulta de gran interés práctico para disminuir la carga de trabajo en el operario, maximizar el factor de uso del equipamiento y minimizar la probabilidad de errores humanos en el proceso de medición.

[0004] Por otro lado, existen documentos tales como la solicitud de patente CN 105203973 A, que divulga un dispositivo detector de señales magnéticas débiles, en donde dicho dispositivo comprende un dispositivo SQUID de tipo DC de baja temperatura, una unidad de vibración, una

unidad de plataforma móvil, un sistema de procesamiento de datos de modo de obtener parámetros magnéticos y una sala blindada.

[0005] Dicha plataforma móvil, que se encarga de mover una muestra, puede moverse a lo largo de sus tres ejes ortogonales y se encuentra por debajo del dispositivo SQUID. El movimiento de la plataforma móvil es controlado automáticamente por el sistema de procesamiento de datos.

[0006] La solicitud de patente DE 102017122028 A1 describe un dispositivo para determinar campos magnéticos pequeños utilizando al menos un sensor SQUID. En dicho dispositivo se busca reducir el efecto del campo magnético terrestre de modo que no afecten a las mediciones. El sensor SQUID está conectado a un sistema de procesamiento de datos para la posterior obtención de parámetros magnéticos. Además, se utilizan gases criogénicos tal como el helio.

[0007] La patente DE 10061590 C1 describe un método y un dispositivo para medir la magnetización remanente de materiales, en particular rocas. Se describen algunos procesos típicos en magnetómetros del tipo SQUID tales como que las muestras se someten a una desmagnetización térmica y que las mediciones de la magnetización remanente se realizan a temperatura ambiente. Además, se describe un tubo de cuarzo que transporta las muestras dentro y fuera del magnetómetro.

[0008] Los documentos citados previamente divulgan dispositivos y métodos que presentan algunas o todas de las siguientes desventajas, siendo éstas: que implican mecanismos y diseños complejos para garantizar que el sistema criogénico funcione correctamente en la posición de diseño, y que el sistema de manipulación de muestras requiere que ambas caras de la muestra sean perfectamente planas y paralelas entre sí.

[0009] Asimismo, los magnetómetros comercialmente conocidos presentan desventajas tales como elevados tiempos de medición por espécimen de alrededor de 1 minuto, lo cual constituye una fuerte restricción dada la cantidad de mediciones que se deben realizar en un estudio típico (típicamente unas 1800 mediciones en un conjunto de 120 muestras).

[0010] En consecuencia, existe una necesidad de proveer un magnetómetro criogénico que permita mediciones de alta sensibilidad y que sea capaz de realizar mediciones de manera automática en un tiempo sensiblemente menor al de los magnetómetros criogénicos de rocas disponibles comercialmente, teniendo un diseño mecánicamente más sencillo y robusto.

Breve Descripción de la Invención

[0011] En base a las consideraciones anteriores, la presente invención proporciona un magnetómetro criogénico que utiliza helio gaseoso y que presenta una disposición geométrica que permite un diseño sencillo y un sistema de manipulación de muestras más robusto. Asimismo, dicho magnetómetro posee una alta sensibilidad para detectar señales magnéticas y permite realizar mediciones de manera automática en tiempos 50% menores a los de los magnetómetros de rocas comerciales.

[0012] En consecuencia, es un objeto de la presente invención un magnetómetro criogénico para la medición del magnetismo remanente natural en muestras de rocas naturales que comprende:

- un cuerpo alargado de sección transversal circular que comprende una parte superior, una parte inferior, y un volumen y superficie interior, en donde la parte inferior comprende una abertura;
- un sistema criogénico ubicado en la parte superior del cuerpo alargado, en donde dicho sistema comprende un criogenerador que comprende un cabezal criogénico y un compresor;
- medios de detección y medición de señales magnéticas ubicados en la parte superior del cuerpo alargado, por debajo del sistema criogénico, en donde dichos medios de detección y medición de señales magnéticas se ubican adentro y afuera del cuerpo alargado;
- medios de anulación del campo magnético terrestre ubicados adentro y afuera del cuerpo alargado;
- una estructura de soporte que soporta al cuerpo alargado, al sistema criogénico, a los medios de detección y medición de señales magnéticas y a los medios de anulación del campo magnético terrestre;
- medios de manipulación de muestras ubicados debajo del cuerpo alargado y soportados por la estructura de soporte, en donde dichos medios de manipulación de muestras comprenden un portamuestras y un sistema de elevación de muestras; y
- medios de control y procesamiento en comunicación de datos con el sistema criogénico, los medios de detección y medición de señales magnéticas, los medios de anulación del campo magnético terrestre y los medios de manipulación de muestras para controlar a, y recibir información de, cada uno de éstos.

[0013] En una forma de realización del magnetómetro de la presente invención, el cuerpo alargado comprende en su superficie interior un blindaje magnético superconductor y un blindaje formado por capas de mu-metal.

[0014] En una forma de realización del magnetómetro de la presente invención, el criogenerador es del tipo *pulse tube* de He (helio) gaseoso.

[0015] En una forma de realización del magnetómetro de la presente invención, los medios de detección y medición de señales magnéticas comprenden al menos dos sensores sensibles a señales magnéticas, preferiblemente, sensores SQUID y más preferiblemente sensores SQUID de tipo DC.

[0016] En una forma de realización del magnetómetro de la presente invención, éste comprende medios de desmagnetización por campos alternos ubicados en la parte inferior del cuerpo alargado. Preferentemente, los medios de desmagnetización comprenden bobinas de desmagnetización, preferiblemente bobinas Helmholtz y solenoides.

[0017] En una forma de realización del magnetómetro de la presente invención, los medios de anulación del campo magnético terrestre comprenden un sensor triaxial de campo magnético, preferiblemente un *fluxgate* triaxial; tres pares de bobinas de Helmholtz, preferiblemente cuadradas, ubicadas adentro del cuerpo alargado; y tres pares de bobinas de Helmholtz, preferiblemente cuadradas, ubicadas afuera del cuerpo alargado.

[0018] En una forma de realización del magnetómetro de la presente invención, la estructura de soporte comprende una pluralidad de barras horizontales y verticales.

[0019] En una forma de realización del magnetómetro de la presente invención, el portamuestras comprende una pluralidad de cavidades para recibir respectivas muestras de roca a analizar.

[0020] En una forma de realización del magnetómetro de la presente invención, el sistema de elevación de muestras comprende un tubo, preferiblemente un tubo de cuarzo.

[0021] En una forma de realización del magnetómetro de la presente invención, los medios de manipulación de muestras comprenden varios medios de accionamiento, preferiblemente servomotores.

[0022] Es otro objeto de la presente invención un método para la medición del magnetismo remanente natural en muestras de rocas naturales utilizando el magnetómetro de la presente invención, comprendiendo dicho método las siguientes etapas:

- llevar el sistema criogénico a vacío y encender el compresor para comenzar el enfriamiento hasta alcanzar la temperatura de operación;
- realizar la anulación del campo magnético terrestre mediante los medios de anulación del campo magnético terrestre controlados por los medios de control y procesamiento;
- colocar la muestra en una zona de medición, en donde los medios de control y procesamiento envían comandos para el posicionamiento en direcciones X e Y del portamuestras tal que una muestra a analizar sea ubicada sobre el sistema de elevación de muestras, y en donde dicha muestra es elevada e ingresada en el cuerpo alargado para su medición; y
- medir el vector momento magnético.

[0023] En una forma de realización del método de la presente invención, el sistema de elevación de muestras comprende un tubo, preferiblemente un tubo de cuarzo.

[0024] En una forma de realización del método de la presente invención, los medios de desmagnetización comprenden bobinas de desmagnetización, preferiblemente bobinas Helmholtz y solenoides.

[0025] En una forma de realización del método de la presente invención, la etapa de medir el vector momento magnético comprende utilizar los medios de detección y medición de señales magnéticas para medir el vector momento magnético, en donde dichos medios de detección y medición de señales magnéticas comprenden al menos dos sensores sensibles a señales magnéticas, preferiblemente, sensores SQUID y más preferiblemente sensores SQUID de tipo DC.

[0026] En una forma de realización del método de la presente invención, la etapa de medir el vector momento magnético comprende medir el valor de la componente Z del vector momento magnético a partir de una señal vertical (Z) medida por un sensor SQUID y medir los valores de las componentes X e Y del vector momento magnético a partir de señales transversales (X-Y) medidas por otro sensor SQUID mediante la rotación de la muestra en ángulos $\Delta\theta$ hasta completar 360°.

[0027] En una forma de realización del método de la presente invención, la etapa de medir el vector momento magnético comprende medir el valor de la componente Z del vector momento magnético a partir de una señal vertical (Z) medida por un sensor SQUID y medir los valores de las componentes X e Y del vector momento magnético a partir de señales transversales (X-Y)

medidas respectivamente por otros dos sensores SQUID mediante la rotación de la muestra en ángulos $\Delta\theta$ hasta completar 360°.

[0028] En una forma de realización preferida del método de la presente invención, el valor de la componente Z del vector momento magnético se mide realizando pasos de ascenso de una longitud adecuada, preferentemente, 5 mm, y registrando la señal vertical Z para cada paso de ascenso.

[0029] En una forma de realización del método de la presente invención, la etapa de medir el vector momento magnético comprende utilizar un sensor SQUID para obtener una señal vertical (Z) en función del tiempo mientras se hace oscilar la posición de la muestra a una frecuencia determinada, y utilizar otro sensor SQUID para obtener señales transversales (X-Y) en función del tiempo mientras se hace rotar continuamente la muestra a una velocidad de rotación determinada, en donde se analizan las señales obtenidas con transformada de Fourier y se determinan los valores de las componentes X, Y y Z del vector momento magnético a partir de la amplitud y fase de las señales medidas.

[0030] En una forma de realización del método de la presente invención, la etapa de medir el vector momento magnético comprende utilizar un sensor SQUID para obtener una señal vertical (Z) en función del tiempo mientras se hace oscilar la posición de la muestra a una frecuencia determinada, y utilizar otros dos sensores SQUID para obtener respectivamente señales transversales (X-Y) en función del tiempo mientras se hace rotar continuamente la muestra a una velocidad de rotación determinada, en donde se analizan las señales obtenidas con transformada de Fourier y se determinan los valores de las componentes X, Y y Z del vector momento magnético a partir de la amplitud y fase de las señales medidas.

[0031] En una forma de realización preferida del método de la presente invención, se hace oscilar a la muestra con una frecuencia y amplitud adecuadas, preferentemente, una frecuencia de 0,25 Hz y una amplitud de 10 mm.

[0032] En una forma de realización del método de la presente invención, éste comprende una etapa adicional de realizar pasos subsiguientes de desmagnetización por campos magnéticos alternos, en donde se descende la muestra hasta los medios de desmagnetización por campos alternos para su desmagnetización en los tres ejes cartesianos y se monitorea y controla el campo magnético generado durante cada paso de desmagnetización.

Breve descripción de las figuras

[0033] Las Figuras 1A, 1B y 1C muestran una vista en perspectiva isométrica, una vista lateral derecha y una vista frontal, respectivamente, de una forma de realización del magnetómetro criogénico de la presente invención.

[0034] Las Figuras 2A y 2B muestran curvas de calibración de los sensores SQUID.

[0035] Las Figuras 3A, 3B y 3C muestran resultados comparativos de mediciones en las direcciones X, Y y Z, respectivamente, de 10 muestras de rocas sedimentarias.

[0036] Las Figuras 4A y 4B muestran una forma de realización de una interfaz de usuario.

Descripción detallada de la invención

[0037] El magnetómetro criogénico y método de la presente invención serán descritos a continuación en detalle haciendo referencia a las Figuras 1A a 4B.

[0038] A los efectos de la presente invención, debe entenderse que el magnetómetro criogénico de la presente invención realiza la medición del vector momento magnético correspondiente a una muestra de roca natural, siendo dicho vector momento magnético parte del magnetismo remanente natural de la muestra de roca natural, y en donde dicho vector tiene componentes en direcciones X, Y y Z de un sistema de coordenadas cartesianas.

[0039] A los efectos de la presente invención, la medición del vector momento magnético comprende la detección y medición de señales magnéticas que luego son procesadas para determinar dicho vector momento magnético.

[0040] Haciendo referencia a las Figura 1A, 1B y 1C, en éstas pueden apreciarse una vista en perspectiva isométrica, una vista lateral derecha y una vista frontal, respectivamente de una forma de realización del magnetómetro criogénico **1** de la presente invención que comprende un cuerpo alargado **2** de sección transversal circular, un sistema criogénico **3** ubicado en la parte superior del cuerpo alargado **2**, medios de detección y medición de señales magnéticas **4** ubicados en la parte superior del cuerpo alargado **2**, y por debajo del sistema criogénico **3**, medios de anulación del campo magnético terrestre (no mostrados) ubicados adentro y afuera del cuerpo alargado **2**, una estructura de soporte **5** que soporta al cuerpo alargado **2**, al sistema criogénico **3**, a los medios de detección y medición de señales magnéticas **4** y a los medios de anulación del campo magnético terrestre; y medios de manipulación **6** de muestras ubicados debajo del cuerpo alargado **2** y soportados por la estructura de soporte **5**.

[0041] El cuerpo alargado **2** comprende una abertura en la parte inferior del mismo a través de la cual permite el ingreso de una muestra de roca a analizar. Además, el cuerpo alargado **2** comprende un volumen y una superficie interior, en donde la superficie interior comprende un blindaje formado por capas de mu-metal y un blindaje magnético superconductor. Dichos blindajes constituyen un blindaje pasivo y aíslan el interior del cuerpo alargado **2** de posibles interferencias magnéticas externas.

[0042] El sistema criogénico **3** comprende un criogenerador de tipo *pulse tube* que utiliza He gaseoso (libre de He líquido). El criogenerador comprende, a su vez, un cabezal criogénico y un compresor de He. Esto permite que no sea necesario extraer calor para mantener la fase líquida de He en un reservorio, por lo que el cabezal criogénico puede apagarse cuando no está siendo empleado, lo cual prolonga la vida útil del mismo además de producir un ahorro de energía neto de todo el magnetómetro.

[0043] Es necesario aclarar que por criogenerador debe entenderse un dispositivo que permite obtener temperaturas criogénicas a través de un ciclo termodinámico de refrigeración, tal como se conocen en el estado de la técnica.

[0044] Los medios de detección y medición de señales magnéticas **4** se ubican adentro y afuera del cuerpo alargado **2**, en la parte superior del mismo, y comprenden al menos dos sensores sensibles a señales magnéticas, en donde dichos sensores son preferiblemente sensores superconductores de interferencia cuántica (SQUID, por sus siglas en inglés) y aún más preferiblemente sensores SQUID de tipo DC (corriente continua). Dichos al menos dos sensores SQUID definen una zona de medición dentro del cuerpo alargado **2** del magnetómetro de la presente invención.

[0045] En una forma de realización del magnetómetro de la presente invención, se utiliza un sensor SQUID de los al menos dos sensores SQUID para medir el momento magnético de la muestra en la dirección Z de un sistema de coordenadas cartesianas, en donde la dirección Z, es vertical y paralela al eje longitudinal del cuerpo alargado **2**; y se utiliza otro sensor SQUID de los al menos dos sensores SQUID para medir el momento magnético de la muestra en las direcciones X e Y, perpendiculares a la dirección Z y paralelas a la sección transversal circular de dicho cuerpo alargado **2**.

[0046] En una forma de realización preferida del magnetómetro de la presente invención se utilizan tres sensores SQUID, donde cada uno de ellos mide respectivamente uno de los tres componentes del vector momento magnético de la muestra de roca a analizar.

[0047] Los medios de anulación del campo magnético terrestre ubicados adentro y afuera del cuerpo alargado 2 comprenden un sensor triaxial de campo magnético, preferiblemente un *fluxgate* triaxial; tres pares de bobinas de Helmholtz, preferiblemente cuadradas, ubicadas adentro del cuerpo alargado 2; y tres pares de bobinas de Helmholtz, preferiblemente cuadradas, ubicadas afuera del cuerpo alargado 2 para realizar la cancelación del campo magnético terrestre en tiempo real, una fuente de corriente que alimenta a cada uno de los pares de bobinas de Helmholtz dentro del cuerpo alargado 2 y otra fuente de corriente que alimenta a cada uno de los pares de bobinas Helmholtz afuera del cuerpo alargado 2.

[0048] Los tres pares de bobinas de Helmholtz ubicados afuera y alrededor del cuerpo alargado 2 permiten realizar la cancelación del campo magnético terrestre en tiempo real en la zona de movimiento de un portamuestras 7, que comprenden los medios de manipulación 6 de muestras, obteniéndose campos menores a 700 nT.

[0049] Los tres pares de bobinas de Helmholtz internos al cuerpo alargado 2 permiten la cancelación del campo remanente interno, producto del campo magnético terrestre, en el cuerpo alargado 2. De este modo, la zona de medición estará en “campo cero”, es decir, el campo en dicha zona tenderá a anularse lo mejor posible.

[0050] Para ambos casos se utiliza el *fluxgate* triaxial para medir el campo magnético presente tanto en la zona de movimiento del portamuestras como dentro del cuerpo alargado 2. Más detalladamente, el *fluxgate* triaxial mide primero el campo magnético afuera del cuerpo alargado 2 para luego ser introducido en este, a través de la abertura que el cuerpo alargado 2 tiene en su inferior, mediante medios de accionamiento que permiten su ingreso en el cuerpo alargado 2.

[0051] En particular, para lograr la anulación del campo remanente interno, se utiliza el blindaje pasivo constituido por el blindaje formado por capas de mu-metal y el blindaje superconductor del cuerpo alargado 2, y una cancelación activa, que consiste en introducir el *fluxgate* por el mismo orificio de ingreso de la muestra y anular en tiempo real el campo interno restante (50 nT típicamente) mediante los tres pares de bobinas de Helmholtz internas.

[0052] La estructura de soporte 5 comprende una pluralidad de barras horizontales y verticales que soportan y elevan por encima del suelo al cuerpo alargado 2, al sistema criogénico 3, a los

medios de detección y medición de señales magnéticas **4** y a los medios de anulación del campo magnético terrestre. De este modo se permite una disposición geométrica en donde los medios de manipulación **6** de muestras, también soportados por la estructura de soporte **5**, se ubiquen por debajo del cuerpo alargado **2**.

[0053] Cabe aclarar que el sistema criogénico **3** utilizado requiere estar en posición vertical y orientado hacia abajo para poder funcionar. Esto se debe al funcionamiento del ciclo termodinámico implementado, por lo que si se orientara de otra manera su capacidad de refrigeración sería muy limitada o nula. Es por ello que los magnetómetros comercialmente conocidos que emplean sistemas criogénicos similares o iguales al utilizado en la presente invención tienen desplazados dichos sistemas criogénicos del cuerpo del magnetómetro y utilizan un conjunto mecánico complejo que comunique ambas partes. En cambio, la disposición geométrica del magnetómetro de la presente invención evita dicha complejidad mecánica ya que, al ingresarse las muestras de roca a analizar por la parte inferior del cuerpo alargado, como se explicará en mayor detalle a continuación, el sistema criogénico puede estar montado en la parte superior y en línea con dicho cuerpo, lo cual genera un montaje sustancialmente más sencillo y de mucho menor costo.

[0054] Los medios de manipulación **6** de muestras comprenden una bandeja portamuestras **7**, tal como se mencionó anteriormente, y un sistema de elevación de muestras **8**. Dicho portamuestras comprende una pluralidad de cavidades para recibir respectivas muestras de roca a analizar. Por su parte, el sistema de elevación de muestras comprende un tubo **9**, preferiblemente un tubo de cuarzo, para elevar una correspondiente muestra de roca hasta el cuerpo alargado **2**, ingresar a través de la abertura que comprende el cuerpo en su parte inferior y llegar hasta la zona de medición. Además, los medios de manipulación **6** comprenden varios medios de accionamiento, tal como servomotores, para desplazar el portamuestras y posicionar la muestra de roca a ser analizada por debajo del tubo de cuarzo y para posteriormente elevar dicha muestra.

[0055] El tubo de cuarzo soporta a la correspondiente muestra a analizar dentro del cuerpo alargado **2** del magnetómetro, estando dicha muestra soportada por su propio peso en el tubo.

[0056] La disposición geométrica del magnetómetro de la presente invención no requiere que la muestra de roca a analizar presente dos caras perfectamente planas y paralelas para ser medida, a diferencia de los magnetómetros comerciales. Esto se debe a que la sujeción de la muestra se realiza desde la misma cara de apoyo sobre la bandeja portamuestras, de manera que puede

presentar imperfecciones en la cara opuesta sin perjudicar la medición. En los magnetómetros comerciales un sistema de vacío succiona la cara superior de la muestra, opuesta a la cara de apoyo sobre la bandeja, de manera que se requiere que ambas caras estén libres de imperfecciones y sean paralelas. De esta manera, se ahorra en tiempo y costos de preparación de las muestras, y se evita la necesidad de un sistema de vacío para que manipule las muestras.

[0057] En una forma de realización del magnetómetro de la presente invención, éste comprende además medios de desmagnetización por campos alternos en la parte inferior y dentro del cuerpo alargado **2**, en donde dichos medios de desmagnetización por campos alternos están soportados y elevados por encima del suelo mediante la estructura de soporte **5**. Los medios de desmagnetización por campos alternos definen una zona de desmagnetización y comprenden un controlador, un amplificador de potencia, relays de conmutación, bancos de capacitores, un solenoide y un par de bobinas Helmholtz y un sensor de corriente, en donde el solenoide y el par de bobinas Helmholtz son alimentados por los bancos de capacitores para generar campos magnéticos utilizados para la desmagnetización de la muestra de roca a analizar. En particular, los medios de desmagnetización por campos alternos llevan a cabo una técnica, conocida en estudios de paleomagnetismo, que consiste en la desmagnetización por aplicación de campos alternos de amplitud creciente y que permite identificar diferentes componentes mineralógicos que contribuyen al vector de momento magnético total de la muestra.

[0058] El magnetómetro criogénico de la presente invención comprende medios de control y procesamiento que están en comunicación de datos con el sistema criogénico; los medios de detección y medición de señales magnéticas; los medios de desmagnetización por campos alternos, en caso de comprenderlos; los medios de anulación del campo magnético terrestre y los medios de manipulación de muestras para controlar y recibir información de cada uno de éstos, mediante la implementación de algoritmos.

[0059] En la forma de realización del magnetómetro de la presente invención que comprende los medios de desmagnetización por campos alternos, éstos se colocan en tándem con los medios de detección y medición de señales magnéticas, siendo ambos medios totalmente controlados por los medios de control y procesamiento, como se mencionó anteriormente, lo cual aumenta notablemente la productividad de estos. Por un lado, el procesamiento de una muestra no requiere la atención permanente de un usuario y la migración manual de la muestra desde los medios de detección y medición de señales magnéticas hasta los medios de desmagnetización

por campos alternos o viceversa y, por otro lado, se disminuye notablemente los tiempos de procesamiento al realizar todo el proceso de forma automática, siendo posible incluso dejar al magnetómetro criogénico desatendido por tiempos prolongados.

[0060] La información procesada por los medios de control y procesamiento puede ser representada en una interfaz de usuario tal como se ilustra, a modo de ejemplo, en las Figuras 4A y 4B. En la Figura 4A se ilustra, a modo de ejemplo, la geometría del portamuestras utilizado que tiene 120 cavidades para recibir muestras de roca a analizar. Cada una de las cavidades está enumerada para ordenar las mediciones realizadas y asignar los resultados de las mediciones a la cavidad en donde se encontraba la roca analizada. En otras palabras, un usuario puede acceder a cada casillero, que representa una cavidad que contiene una muestra de roca, para, por ejemplo, cargar los datos de la misma, ver estado de etapas de desmagnetización, y acceder a los gráficos correspondientes a cada muestra, por ejemplo, dentro de una colección de muestras de un proyecto, tal como se ilustra en la Figura 4B. Mediante la información almacenada y procesada puede, por ejemplo, determinarse los diferentes componentes mineralógicos que contribuyen al vector de momento magnético total de la muestra.

[0061] Es necesario destacar que el magnetómetro criogénico de la presente invención permite medios de detección y medición de señales magnéticas que detecten y midan señales extremadamente débiles, con niveles de ruido del orden de 10^{-12} A.m², 1×10^{-9} emu, que funcionan en la cercanía de los medios de desmagnetización por campos alternos con campos picos potenciales mayores a 150 mT. Asimismo, las mediciones de magnetización remanente se realizan en muestras a temperatura ambiente (295 K), mientras que los medios de detección y medición de señales magnéticas deben enfriarse por debajo de la temperatura de transición a la superconductividad del material (9 K para sensores SQUID que incorporan Nb) y localizarse lo más próximo a la muestra posible para maximizar la intensidad de señal en la medición, dando lugar a gradientes térmicos del orden de $100 \frac{\text{K}}{\text{cm}}$, para lo cual se implementa un aislamiento térmico efectivo entre el exterior a temperatura ambiente y el interior a temperaturas criogénicas.

[0062] A continuación, se detalla el método de medición, en forma de etapas, ejecutado por el magnetómetro de la presente invención.

[0063] En una primera etapa, se lleva el interior del cuerpo del magnetómetro a vacío y se enciende el compresor del sistema criogénico para comenzar el enfriamiento hasta alcanzar la temperatura de operación, siendo ésta preferiblemente 3,2 K.

[0064] En una segunda etapa, se realiza la anulación del campo magnético remanente interno del cuerpo alargado del magnetómetro de manera automática mediante los medios de anulación del campo magnético terrestre controlados por los medios de control y procesamiento. Más específicamente, el blindaje superconductor es calentado por sobre su temperatura de transición mediante calefactores internos controlados por los medios de control y procesamiento, se introduce el *fluxgate* triaxial por el mismo orificio de ingreso de la muestra hasta la zona de medición y se energizan los tres pares de bobinas de Helmholtz internas controladas por los medios de control y procesamiento para cancelar el campo medido por el *fluxgate* triaxial. Se obtiene un campo magnético remanente interno menor o igual a 10 nT. Cabe destacar que, antes de introducir el *fluxgate* triaxial dentro del cuerpo alargado del magnetómetro, se mide el campo magnético en la zona de movimiento del portamuestras a través de dicho *fluxgate* triaxial y se realiza la anulación del campo magnético terrestre en dicha zona a través de los tres pares de bobinas de Helmholtz ubicados afuera y alrededor del cuerpo alargado.

[0065] A continuación, se enfría el blindaje superconductor por debajo de su temperatura de transición nuevamente, completando el protocolo de encendido del magnetómetro. El enfriamiento se realiza apagando los calefactores internos, de manera que la temperatura desciende gracias al sistema criogénico, el cual permanece encendido durante todo el proceso.

[0066] En una tercera etapa, se coloca una muestra de roca en la zona de medición. Para ello, los medios de control envían comandos para el posicionamiento en direcciones X e Y del portamuestras de modo tal que dicha muestra de roca se ubique espacialmente sobre el tubo de cuarzo. Una vez en esta posición, se eleva el tubo de cuarzo hasta la altura de la base inferior de la muestra, de modo que ésta se apoye sobre el tubo de cuarzo, y se eleva la muestra hasta la zona de medición, ingresando en el cuerpo alargado del magnetómetro a través de la abertura que dicho cuerpo comprende en su parte inferior.

[0067] En una cuarta, se mide el vector momento magnético. En una forma de realización de dicha cuarta etapa se realiza una medición de tipo puntual, en donde se utiliza un sensor SQUID para obtener la señal vertical (Z) y otro sensor SQUID para obtener las señales transversales (X-Y) mediante la rotación de la muestra de modo de obtener el vector de momento magnético. Más precisamente, se obtiene el valor de la componente Z del vector momento magnético realizando pasos de ascenso de, por ejemplo, unos 5 mm en toda la zona de medición y registrando la señal

vertical Z, mediante la cual se obtiene el flujo magnético en la dirección Z. El flujo magnético está dado por la siguiente ecuación:

$$\phi(z) = m_z \alpha N A \left\{ \frac{2}{[R^2 + z^2]^{3/2}} - \frac{1}{(R^2 + (z - a)^2)^{3/2}} - \frac{1}{(R^2 + (z + a)^2)^{3/2}} \right\}$$

donde m_z es la componente Z del momento magnético de la muestra, α es una combinación de constantes fundamentales, N y A son respectivamente el número de espiras y el área de las bobinas captoras, z es la posición a lo largo del eje Z de la muestra con $z=0$ indicando la posición de la bobina central, R es el radio de las espiras y a es la separación entre las espiras centrales y las externas de las bobinas del sensor SQUID. De este modo, conociendo tanto el valor del flujo magnético en función de la coordenada Z como de los parámetros α , N , A , R y a se despeja m_z de la ecuación anterior y se obtiene la componente Z del vector momento magnético.

[0068] Luego, la muestra es rotada sucesivamente en ángulos $\Delta\theta$ obteniendo valores para la señal transversal (X-Y) en cada punto, hasta completar 360° mediante un motor de rotación y un mecanismo diseñado para rotar el tubo de cuarzo. Las mediciones resultantes son ajustadas por una ecuación conocida en el estado de la técnica correspondiente a la respuesta del arreglo de las bobinas captoras a un dipolo magnético puntual, que tiene en cuenta la amplitud de la señal medida (el momento magnético en el plano), un valor constante (el momento inducido en la muestra y el tubo de cuarzo por el posible campo en la zona de medición, además de un *offset* inicial en el sensor) y una componente lineal que tiene en cuenta una posible deriva (*drift*) de los SQUID, característica de los sensores de este tipo. Asimismo, la fase de la señal medida correspondiente al pico de señal representa la declinación de la muestra. Para esta componente transversal (X-Y) del momento magnético la respuesta de las bobinas es prácticamente indistinguible de una función senoidal.

[0069] El proceso de medición puntual demora aproximadamente 70 segundos en total, siendo posible reducir en 16 segundos este tiempo de incorporarse un tercer SQUID, dado que reduciría a la mitad el tiempo de medición de la componente transversal (X-Y), el cual es de aproximadamente 32 segundos.

[0070] En una forma de realización preferida de la cuarta etapa del método de la presente invención, se realiza la medición de la muestra de forma dinámica. Para ello, se utiliza un sensor SQUID para obtener la señal vertical (Z) en función del tiempo mientras se hace oscilar la posición de la muestra a una frecuencia determinada. Esto se logra implementando un algoritmo

de movimiento de, por ejemplo, un motor vertical, que produce oscilaciones periódicas del tubo de cuarzo en dicha dirección con la frecuencia deseada, por ejemplo, 0,25 Hz, a la altura exacta de mayor sensibilidad de las bobinas captoras y con una amplitud de, por ejemplo, 10 mm. Posteriormente, se utiliza otro sensor SQUID para obtener las señales transversales (X-Y) en función del tiempo mientras se rota continuamente la muestra a una velocidad de rotación determinada. Ambas señales son analizadas con transformada de Fourier y los momentos magnéticos X, Y y Z se determinan a partir de la amplitud y fase de las señales medidas.

[0071] La forma de medición dinámica permite varias ventajas, entre ellas, que la medición toma un tiempo aproximado de 30 segundos, siendo un 50% menor a mediciones tradicionales, lo cual acorta considerablemente los tiempos de análisis. Adicionalmente, dicha forma de medición dinámica aumenta la sensibilidad de la medición y la relación señal/ruido respecto a los métodos tradicionales. Esto último se logra considerando únicamente la frecuencia de oscilación de la muestra en la señal medida y descartando el resto de las frecuencias de la señal, que constituyen ruido y señales espurias de la medición.

[0072] En caso de agregarse un tercer sensor SQUID que realice mediciones en dirección horizontal y ortogonal al eje de medición del otro sensor SQUID que mide señales transversales, se reduce el tiempo de medición en aproximadamente 8 segundos en la medición dinámica, dado que se reduce a la mitad el tiempo de adquisición de la componente en el plano X-Y (la cual es de aproximadamente 16 segundos). De este modo, la medición toma un tiempo aproximado de 22 segundos.

[0073] Cabe destacar que en caso de incorporarse dicho tercer SQUID, la rotación de la muestra continúa siendo necesaria, dado que la medición busca detectar variaciones en la señal en cada dirección a medida que se realiza la rotación, tanto para el método dinámico como para la medición puntual.

[0074] Una vez obtenidos los valores de las tres componentes del vector de momento magnético, puede calcularse también la magnetización volumétrica, inclinación y declinación del espécimen. Asimismo, una vez obtenida el vector momento magnético puede procederse, en caso de ser requerido según el tipo de estudio a realizar, con la desmagnetización de las muestras para la identificación de los componentes mineralógicos que contribuyen al vector de momento magnético total de las mismas. Dicha desmagnetización puede realizarse de manera térmica en un horno o mediante medios de desmagnetización por campos alternos, los cuales como se

indicó previamente, pueden estar incorporados dentro del cuerpo del magnetómetro de la presente invención. En caso de que se quiera realizar la desmagnetización de la muestra, el método de la presente invención puede comprender una quinta etapa opcional, la cual no es necesaria para obtener los resultados ventajosos que el magnetómetro y método de la presente invención permiten obtener en lo que respecta a la medición del vector momento magnético.

[0075] En base a lo descrito anteriormente, en dicha quinta y opcional etapa, se realizan pasos subsiguientes de desmagnetización por campos magnéticos alternos, en caso de ser requerido, en donde se desciende la muestra hasta la zona de desmagnetización, en particular, hasta el centro de las bobinas de desmagnetización, para su desmagnetización en los tres ejes cartesianos y se monitorea y controla el campo magnético generado durante cada paso de desmagnetización. Más precisamente, una vez la muestra está en posición, el controlador en tiempo real cierra el *relay* de conmutación correspondiente al solenoide de desmagnetización (campo vertical) y genera una onda senoidal pura, cuya frecuencia es la frecuencia de resonancia del circuito eléctrico implementado, por ejemplo, de 138 Hz, y cuyo perfil de crecimiento y decrecimiento puede ser seleccionado por un usuario de forma previa. El mismo procedimiento es repetido para generar idéntico campo en ambas direcciones transversales. El proceso de desmagnetización en las tres direcciones demora aproximadamente 60 segundos. Durante cada paso de desmagnetización, el controlador monitorea y controla a lazo cerrado el campo generado mediante el sensor de corriente. Este proceso de desmagnetización es repetido cuantas veces sea especificado por el usuario, aplicando campos con magnitudes crecientes y realizando mediciones de momento magnético luego de cada paso de desmagnetización, de manera de obtener las curvas de desmagnetización y gráficas de cambios direccionales del momento magnético típicas en los estudios de paleomagnetismo. Una vez desmagnetizada la muestra totalmente por el último paso de desmagnetización, la misma es depositada nuevamente en la bandeja portamuestras, para continuar el proceso de medición en la siguiente muestra programada. De este modo, se logran identificar los componentes mineralógicos que contribuyen al vector de momento magnético total de cada una de las muestras de modo de caracterizarlas.

Resultados experimentales

[0076] En las Figuras 2A y 2B pueden apreciarse curvas de calibración de los sensores SQUID aplicando corrientes conocidas en bobinas de geometría conocidas. En particular, para realizar la calibración se generaron señales de momento magnético controlado inyectando corriente a

pequeñas bobinas de cobre en la zona de medición, tanto en la dirección vertical (Z) como transversales (X e Y) para corroborar los cálculos de respuesta del sistema diseñado y definir constantes de calibración propias del magnetómetro criogénico de la presente invención.

[0077] Se utilizaron valores de corriente de 0,1 μA a 200 μA en ambas direcciones. Para evitar perturbaciones en la señal producto de la pieza plástica que sostenía las bobinas, en lugar de generar señales continuas de corriente, se generaron ondas cuadradas de amplitudes y frecuencia conocida. A través de un algoritmo de adquisición que utiliza transformadas rápida de Fourier, se obtuvo la amplitud de las componentes de dicha frecuencia.

[0078] El magnetómetro criogénico de la presente invención permite detectar señales en el orden de 10^{-7} emu (10^{-10} A.m²) en muestras estándar de aproximadamente 10 cm³, distinguiendo eficientemente dichas señales por sobre el ruido que interfiere.

[0079] Una vez calibrado el magnetómetro criogénico de la presente invención, se realizaron mediciones sobre muestras reales de rocas. Se midieron 10 muestras de rocas sedimentarias estables para realizar mediciones cruzadas entre un magnetómetro criogénico de 2G Enterprises, modelo 855 SRM, y el magnetómetro criogénico de la presente invención. Los resultados de las mediciones en las direcciones X, Y y Z se presentan en las Figuras 3A, 3B y 3C, respectivamente. En dichas Figuras, al magnetómetro criogénico de la presente invención se lo denomina “CriAr”.

[0080] La magnetización de las muestras de origen sedimentario fue generada mediante ARM (magnetización remanente anhisterética, por sus siglas en inglés) en la dirección del eje de simetría de los especímenes (magnetización en eje Z), por lo que los valores resultantes en las 10 mediciones de las direcciones X e Y son cercanos a cero. En la Figura 3C se ilustra una vista ampliada de los valores de menor intensidad en el gráfico de correlación en la dirección Z.

[0081] El método de medición de la presente invención aumenta notablemente la sensibilidad del magnetómetro criogénico y permite realizar mediciones en un tiempo sensiblemente menor al de los magnetómetros criogénicos de rocas disponibles comercialmente, reduciéndose aproximadamente hasta la mitad frente a dichos magnetómetros comerciales (las mediciones que utilizan el método dinámico desarrollado demoran 32 segundos, contra aproximadamente 60 segundos en los magnetómetros comerciales), lo cual es una gran ventaja ya que el paleomagnetismo es una técnica que requiere de la medición de una gran cantidad de muestras (cientos o miles) y de este modo habría ahorros de tiempo sustanciales.

Reivindicaciones

1. Un magnetómetro criogénico, caracterizado porque comprende:
 - un cuerpo alargado de sección transversal circular que comprende una parte superior, una parte inferior, y un volumen y superficie interior, en donde la parte inferior comprende una abertura;
 - un sistema criogénico ubicado en la parte superior del cuerpo alargado, en donde dicho sistema comprende un criogenerador que comprende un cabezal criogénico y un compresor;
 - medios de detección y medición de señales magnéticas ubicados en la parte superior del cuerpo alargado, por debajo del sistema criogénico, en donde dichos medios de detección y medición de señales magnéticas se ubican adentro y afuera del cuerpo alargado;
 - medios de anulación del campo magnético terrestre ubicados adentro y afuera del cuerpo alargado;
 - una estructura de soporte que soporta al cuerpo alargado, al sistema criogénico, a los medios de detección y medición de señales magnéticas y a los medios de anulación del campo magnético terrestre;
 - medios de manipulación de muestras ubicados debajo del cuerpo alargado y soportados por la estructura de soporte, en donde dichos medios de manipulación de muestras comprenden un portamuestras y un sistema de elevación de muestras; y
 - medios de control y procesamiento en comunicación de datos con el sistema criogénico, los medios de detección y medición de señales magnéticas, los medios de anulación del campo magnético terrestre y los medios de manipulación de muestras para controlar a, y recibir información de, cada uno de éstos.
2. El magnetómetro de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque el cuerpo alargado comprende en su superficie interior un blindaje magnético superconductor y un blindaje formado por capas de mu-metal.
3. El magnetómetro de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el criogenerador es del tipo *pulse tube* de He (helio) gaseoso.
4. El magnetómetro de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque los medios de detección y medición de señales magnéticas comprenden al menos dos sensores sensibles a señales magnéticas.

5. El magnetómetro de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado porque los al menos dos sensores sensibles a señales magnéticas son sensores SQUID.
6. El magnetómetro de acuerdo con la reivindicación 5, caracterizado porque los sensores SQUID son de tipo DC.
7. El magnetómetro de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque comprende medios de desmagnetización por campos alternos ubicados en la parte inferior del cuerpo alargado
8. El magnetómetro de acuerdo con la reivindicación 7, caracterizado porque los medios de desmagnetización comprenden bobinas de desmagnetización.
9. El magnetómetro de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizado porque las bobinas de desmagnetización son bobinas Helmholtz y solenoides.
10. El magnetómetro de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque los medios de anulación del campo magnético terrestre comprenden un sensor triaxial de campo magnético, tres pares de bobinas de Helmholtz ubicadas adentro del cuerpo alargado, y tres pares de bobinas de Helmholtz ubicadas afuera del cuerpo alargado.
11. El magnetómetro de acuerdo con la reivindicación 10, caracterizado porque el sensor triaxial es un *fluxgate* triaxial.
12. El magnetómetro de acuerdo con la reivindicación 10, caracterizado porque las bobinas de Helmholtz son cuadradas.
13. El magnetómetro de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque la estructura de soporte comprende una pluralidad de barras horizontales y verticales.
14. El magnetómetro de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el portamuestras comprende una pluralidad de cavidades para recibir respectivas muestras de roca a analizar.
15. El magnetómetro de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el sistema de elevación de muestras comprende un tubo.
16. El magnetómetro de acuerdo con la reivindicación 15, caracterizado porque el tubo es un tubo de cuarzo.

17. El magnetómetro de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque los medios de manipulación de muestras comprenden medios de accionamiento.

18. Un método para la medición del magnetismo remanente natural en muestras de rocas naturales que utiliza el magnetómetro de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque comprende las siguientes etapas:

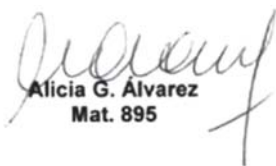
- llevar el sistema criogénico a vacío y encender el compresor para comenzar el enfriamiento hasta alcanzar la temperatura de operación;
- realizar la anulación del campo magnético terrestre mediante los medios de anulación del campo magnético terrestre controlados por los medios de control y procesamiento;
- colocar la muestra en una zona de medición, en donde los medios de control y procesamiento envían comandos para el posicionamiento en direcciones X e Y del portamuestras tal que una muestra a analizar sea ubicada sobre el sistema de elevación de muestras, y en donde dicha muestra es elevada e ingresada en el cuerpo alargado para su medición; y
- medir el vector momento magnético.

19. El método de acuerdo con la reivindicación 18, caracterizado porque la etapa de medir el vector momento magnético comprende medir el valor de la componente Z del vector momento magnético a partir de una señal vertical (Z) medida por un sensor SQUID y medir los valores de las componentes X e Y del vector momento magnético a partir de señales transversales (X-Y) medidas por otro sensor SQUID mediante la rotación de la muestra en ángulos $\Delta\theta$ hasta completar 360°.

20. El método de acuerdo con la reivindicación 18, caracterizado porque la etapa de medir el vector momento magnético comprende medir el valor de la componente Z del vector momento magnético a partir de una señal vertical (Z) medida por un sensor SQUID y medir los valores de las componentes X e Y del vector momento magnético a partir de señales transversales (X-Y) medidas respectivamente por otros dos sensores SQUID mediante la rotación de la muestra en ángulos $\Delta\theta$ hasta completar 360°.

21. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 19 y 20, caracterizado porque el valor de la componente Z del vector momento magnético se mide realizando pasos de ascenso de una longitud adecuada y registrando la señal vertical Z para cada paso de ascenso.

22. El método de acuerdo con la reivindicación 21, caracterizado porque los pasos de ascenso son de 5 mm.
23. El método de acuerdo con la reivindicación 18, caracterizado porque la etapa de medir el vector momento magnético comprende utilizar un sensor SQUID para obtener una señal vertical (Z) en función del tiempo mientras se hace oscilar la posición de la muestra a una frecuencia determinada, y utilizar otro sensor SQUID para obtener señales transversales (X-Y) en función del tiempo mientras se hace rotar continuamente la muestra a una velocidad de rotación determinada, en donde se analizan las señales obtenidas con transformada de Fourier y se determinan los valores de las componentes X, Y y Z del vector momento magnético a partir de la amplitud y fase de las señales medidas.
24. El método de acuerdo con la reivindicación 18, caracterizado porque la etapa de medir el vector momento magnético comprende utilizar un sensor SQUID para obtener una señal vertical (Z) en función del tiempo mientras se hace oscilar la posición de la muestra a una frecuencia determinada, y utilizar otros dos sensores SQUID para obtener respectivamente señales transversales (X-Y) en función del tiempo mientras se hace rotar continuamente la muestra a una velocidad de rotación determinada, en donde se analizan las señales obtenidas con transformada de Fourier y se determinan los valores de las componentes X, Y y Z del vector momento magnético a partir de la amplitud y fase de las señales medidas.
25. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 23 y 24, caracterizado porque se hace oscilar a la muestra con una frecuencia y amplitud adecuadas.
26. El método de acuerdo con la reivindicación 25, caracterizado porque la frecuencia es de 0,25 Hz y la amplitud de 10 mm.
27. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 18 a 26, caracterizado porque comprende una etapa adicional de realizar pasos subsiguientes de desmagnetización por campos magnéticos alternos, en donde se desciende la muestra hasta los medios de desmagnetización por campos alternos para su desmagnetización en los tres ejes cartesianos y se monitorea y controla el campo magnético generado durante cada paso de desmagnetización.


Alicia G. Álvarez
Mat. 895

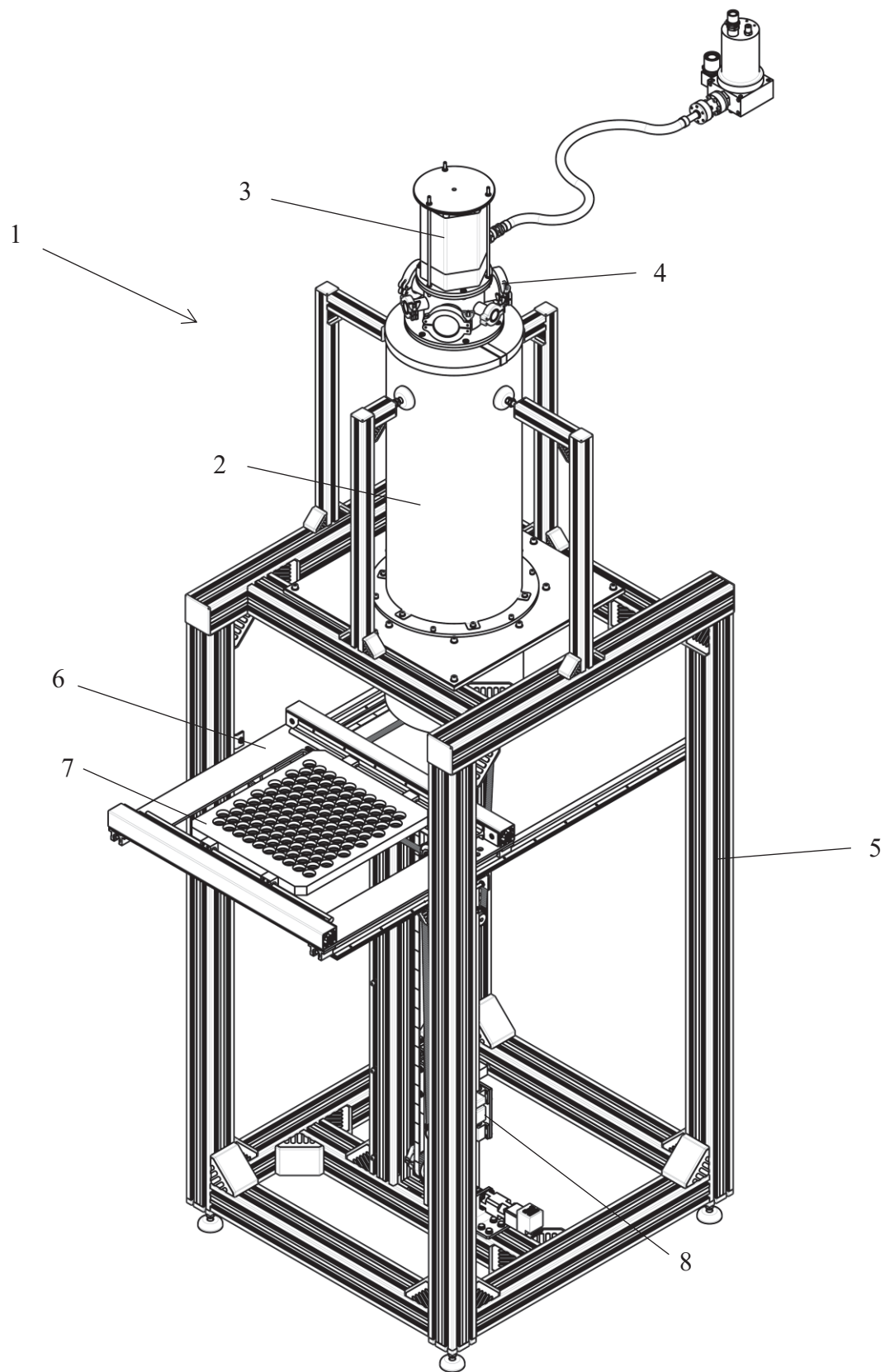


FIG. 1A

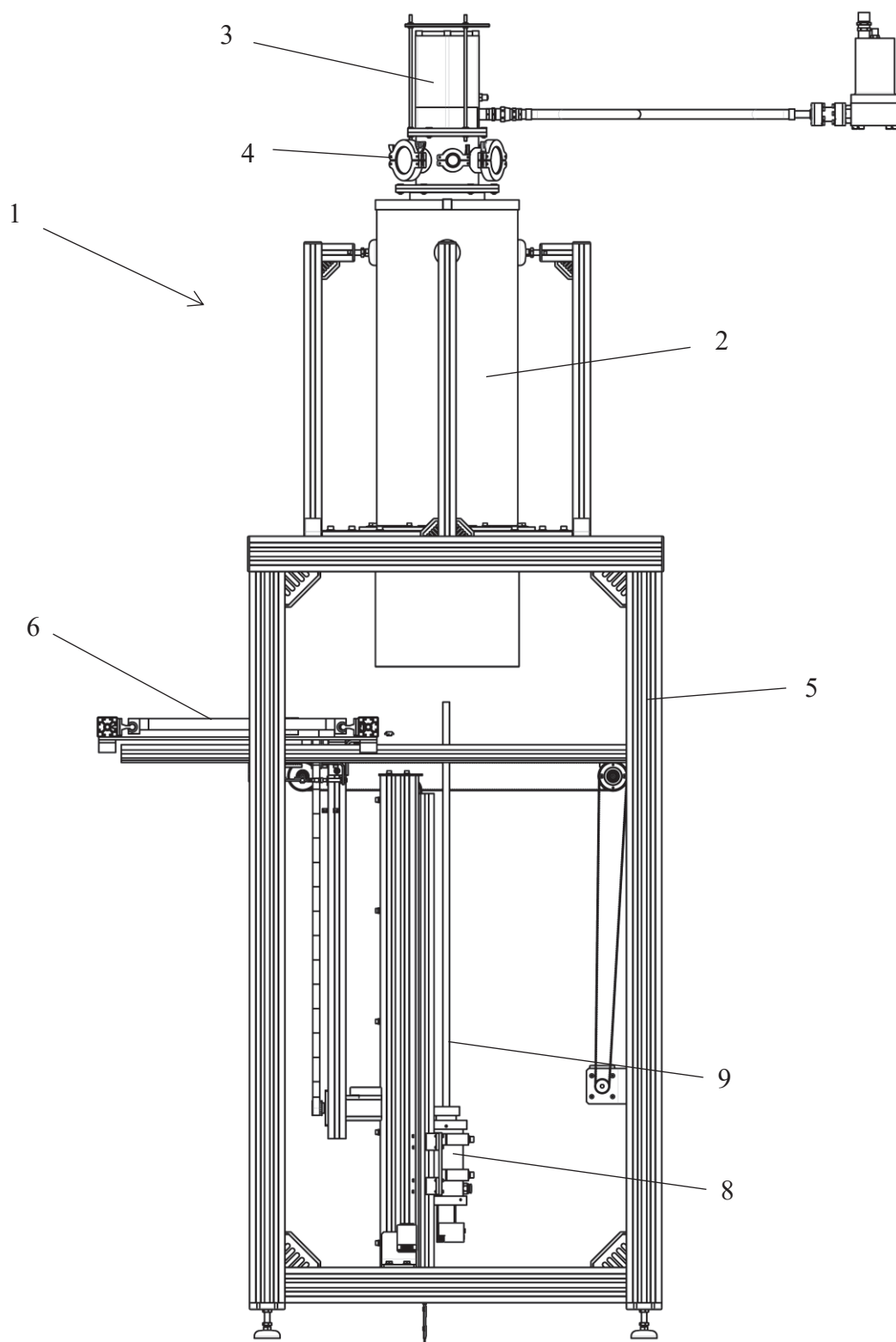


FIG. 1B

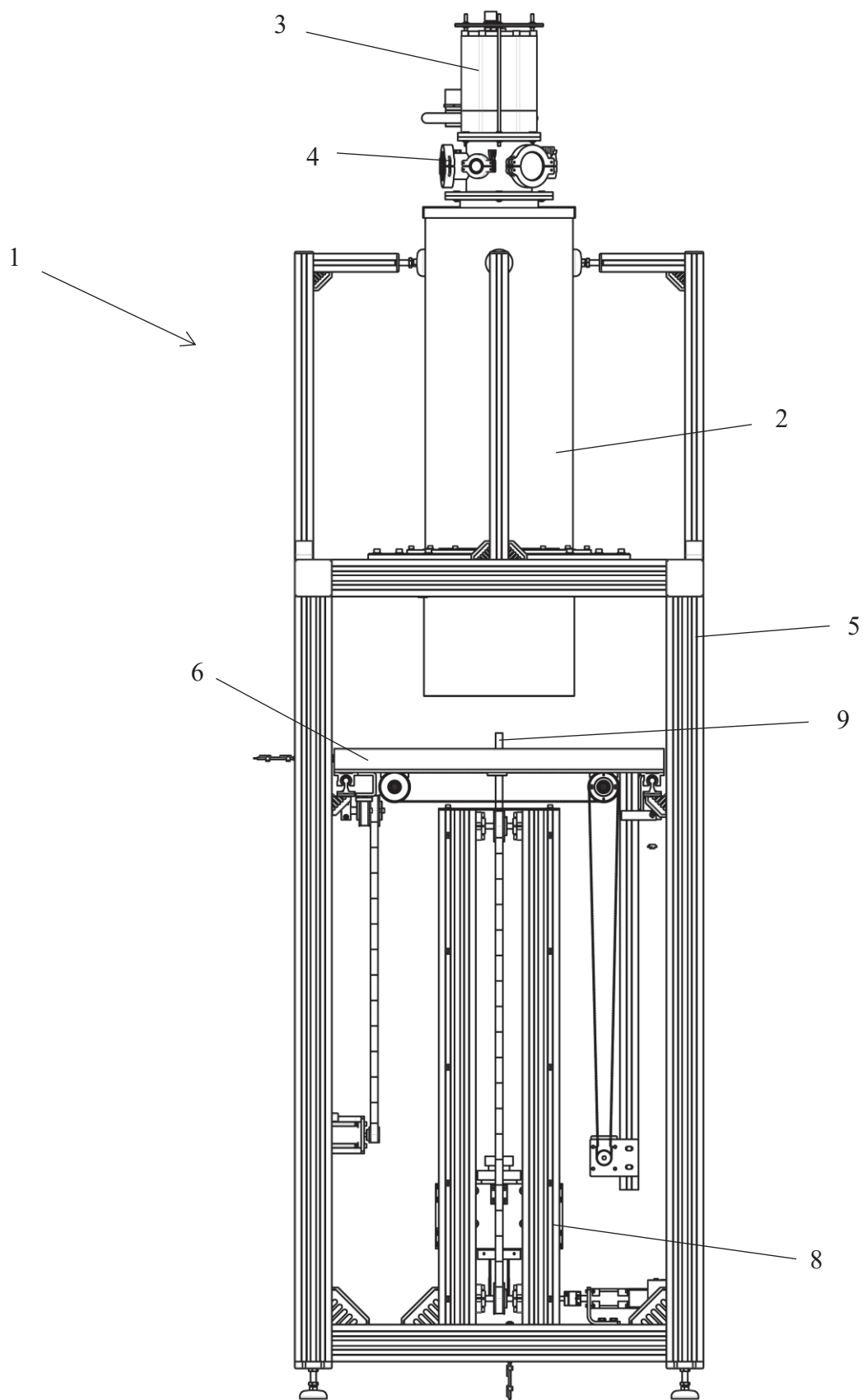


FIG. 1C

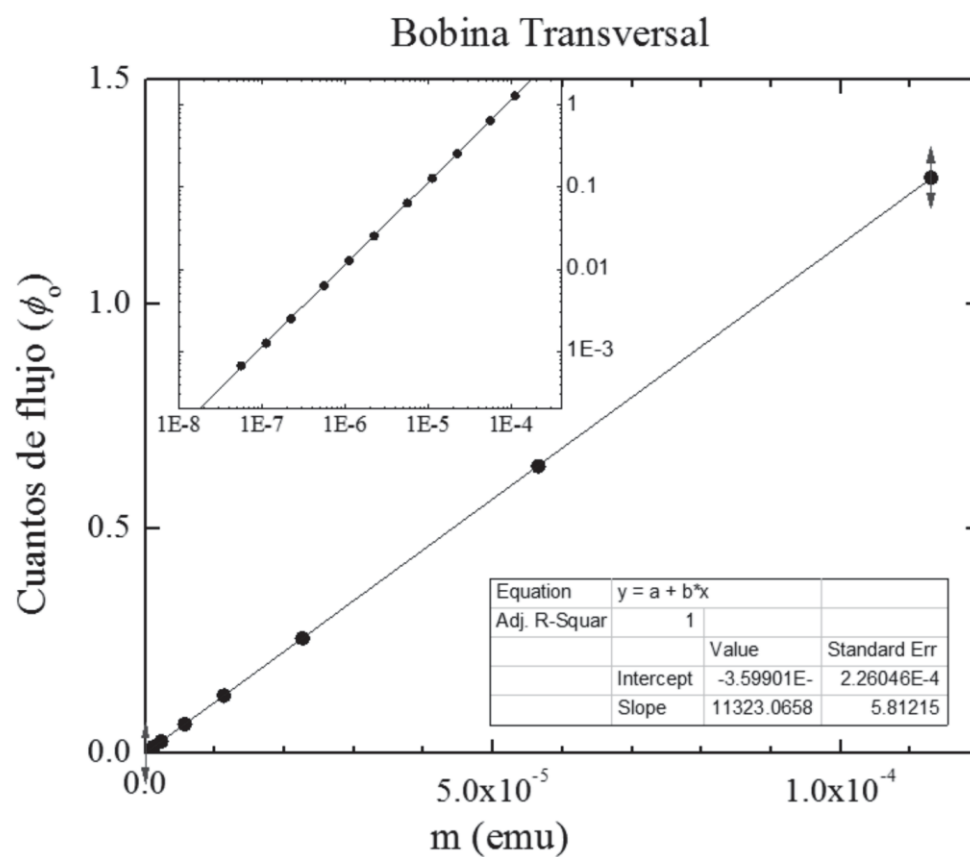


FIG. 2A

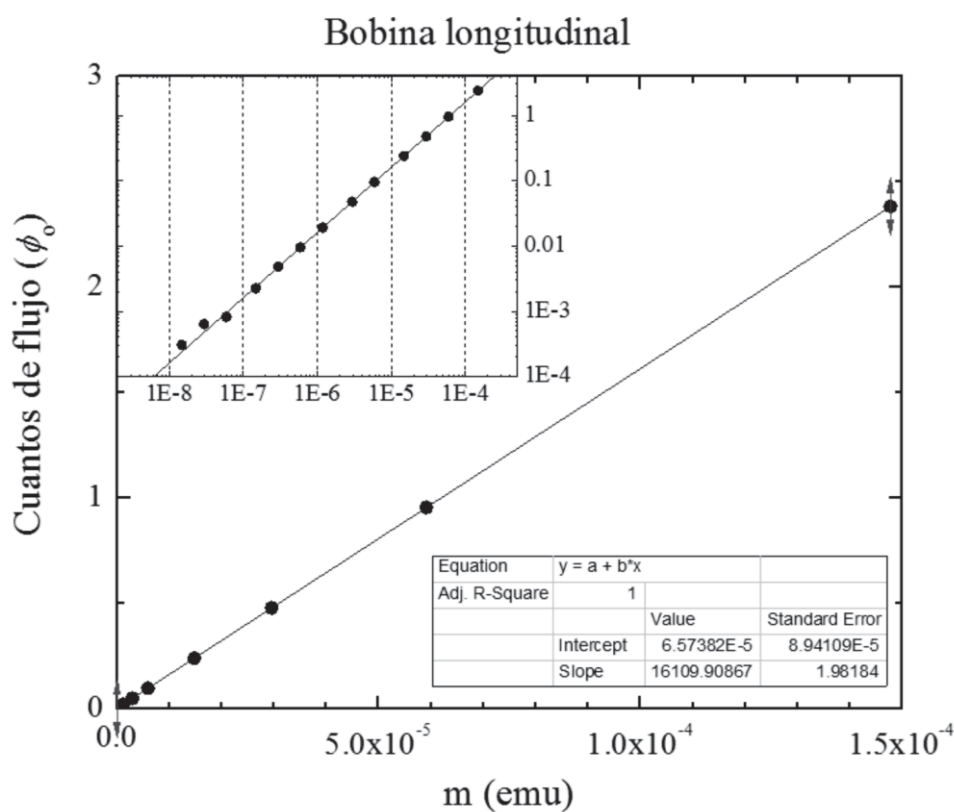


FIG. 2B

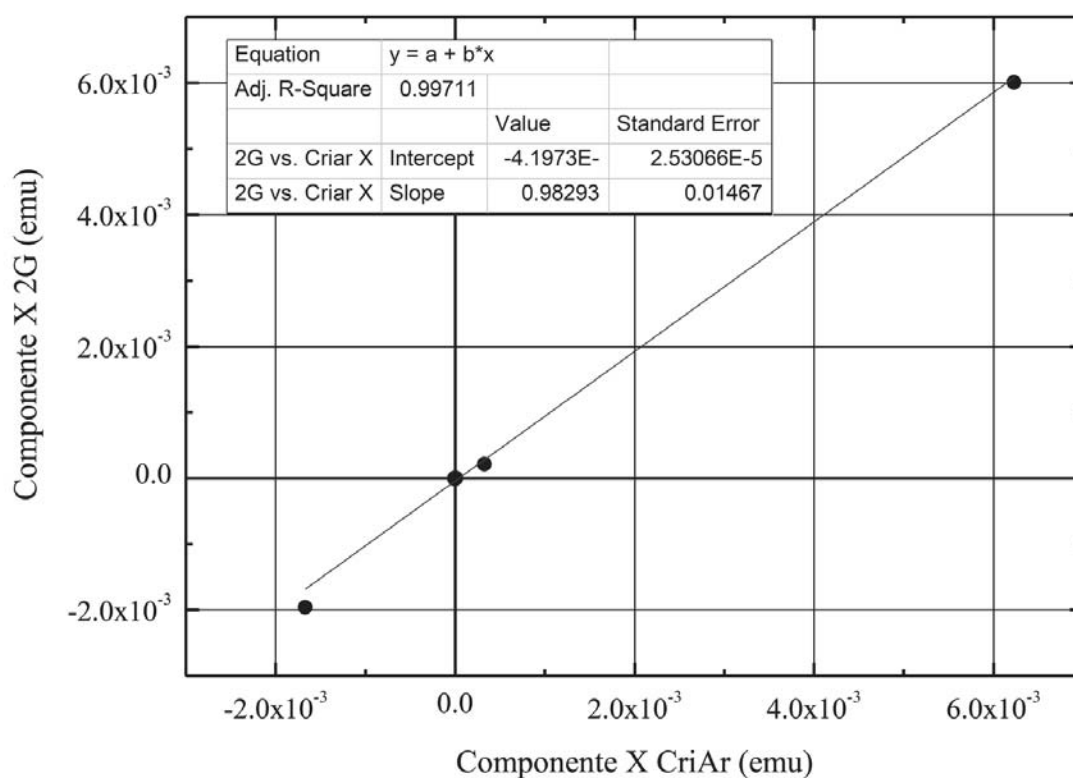


FIG. 3A

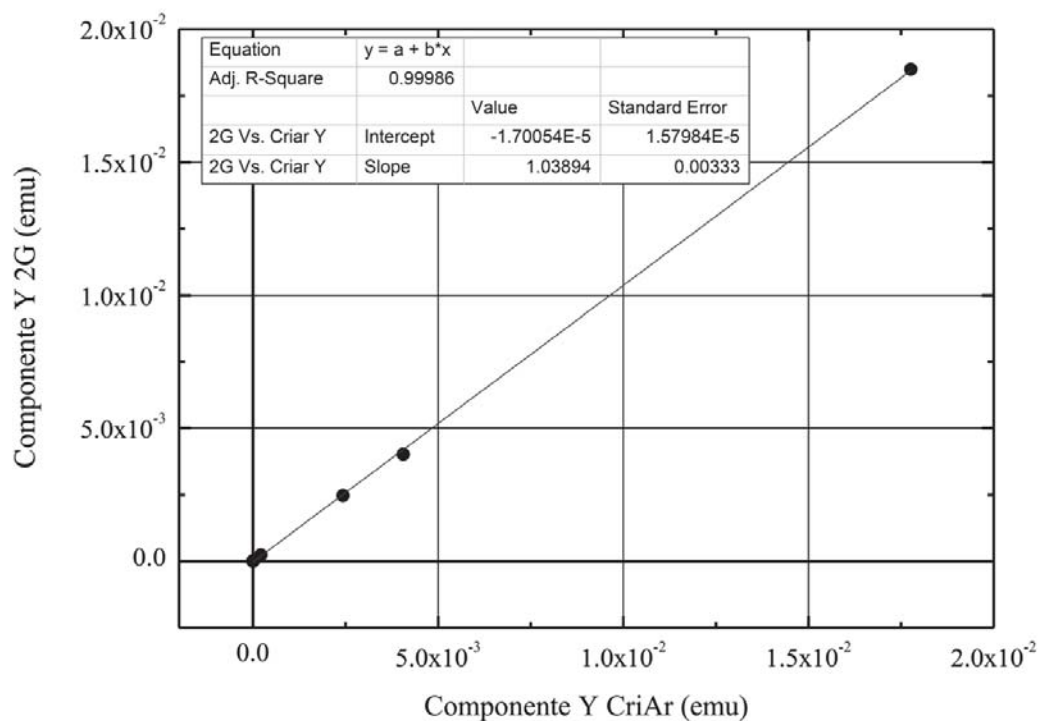


FIG. 3B

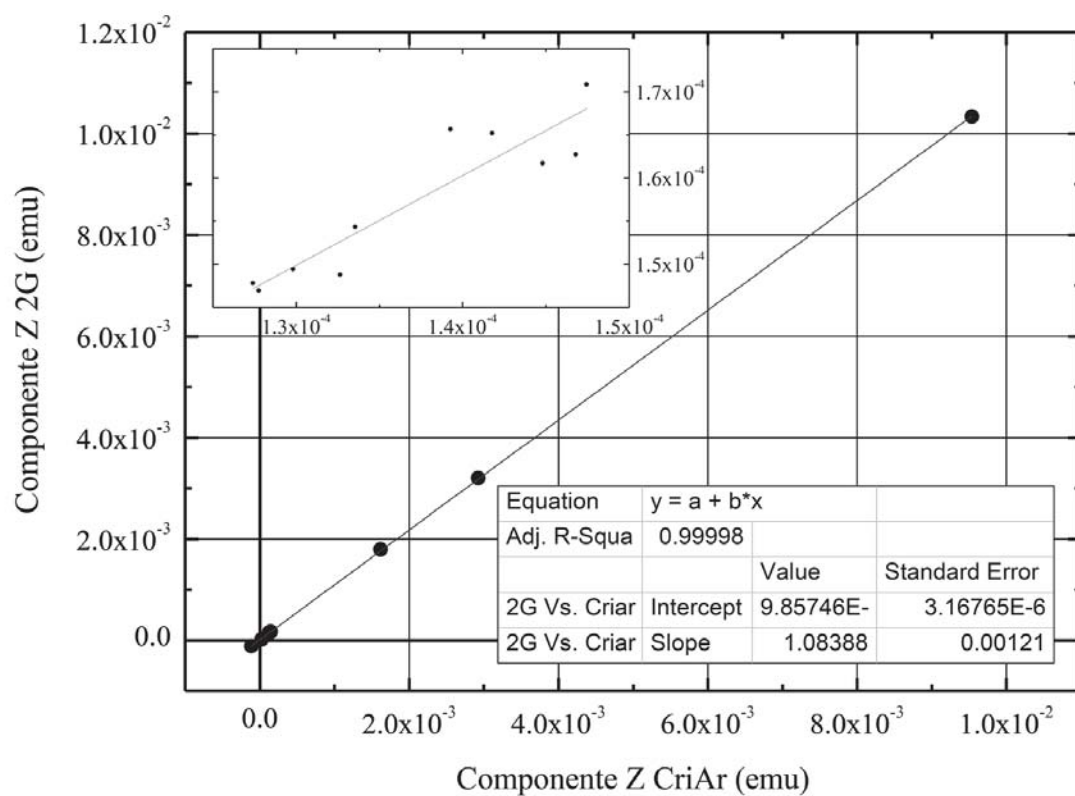


FIG. 3C

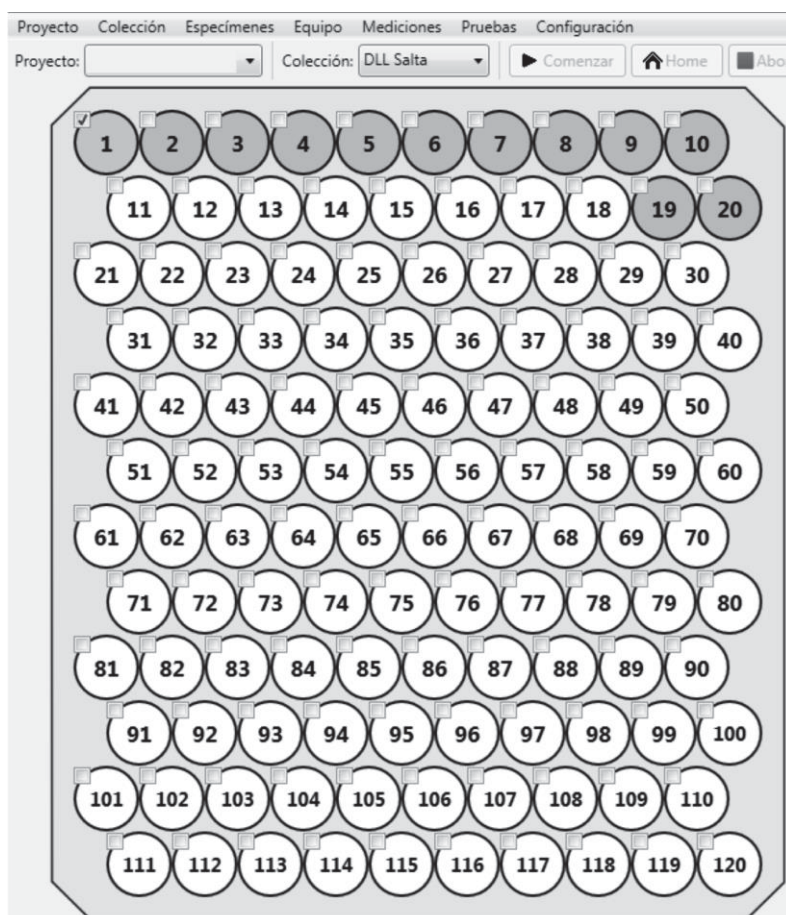


FIG. 4A

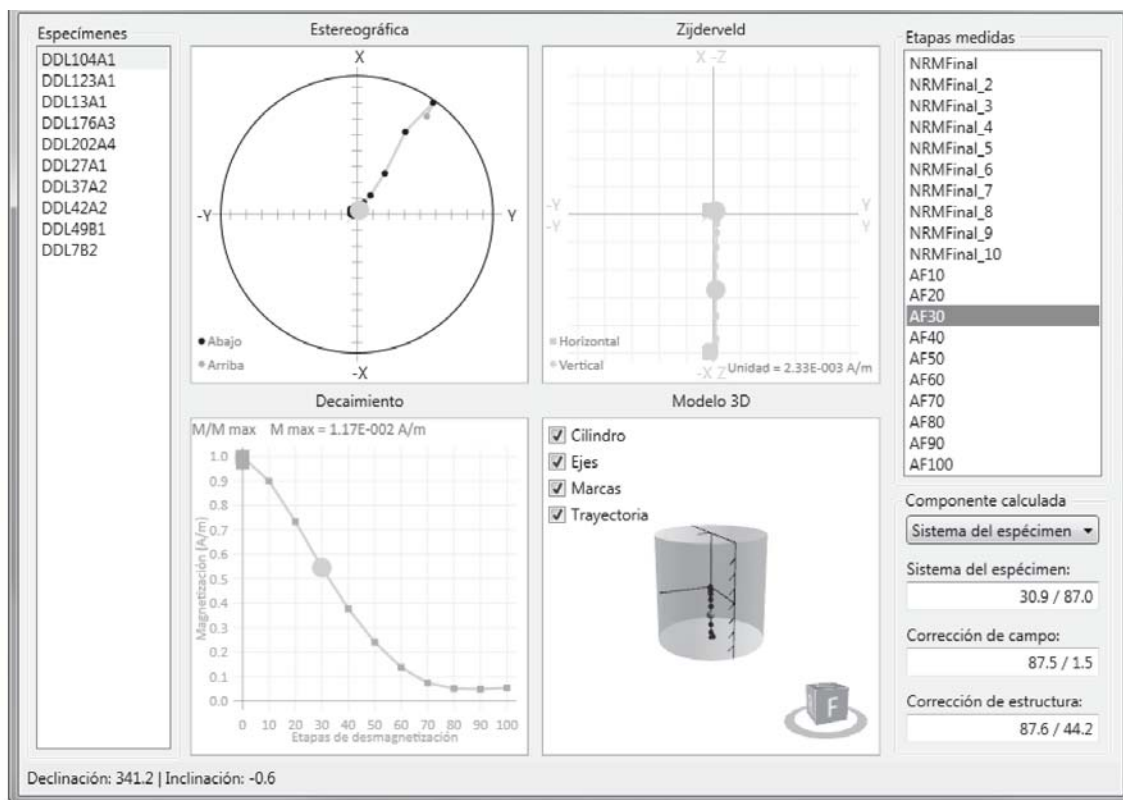


FIG. 4B

Resumen

Un magnetómetro criogénico para la medición del magnetismo remanente natural en muestras de rocas naturales que comprende un cuerpo alargado de sección transversal circular; un sistema criogénico ubicado en la parte superior del cuerpo alargado; medios de detección y medición de señales magnéticas ubicados en la parte superior del cuerpo alargado; medios de anulación del campo magnético terrestre ubicados adentro y afuera del cuerpo alargado; una estructura de soporte; medios de manipulación de muestras ubicados debajo del cuerpo alargado y soportados por la estructura de soporte; y medios de control y procesamiento. Un método para la medición del magnetismo remanente natural en muestras de rocas naturales que utiliza dicho magnetómetro criogénico.