

	GERENCIA DE FÍSICA - GAIyANN Materia Condensada / Bajas Temperaturas	INT-INN_03BT-002
	Informe Técnico	Página: 1 de 10
TÍTULO: Magnetómetro Cri.Ar: generalidades sobre el proyecto		
1. OBJETIVO <p>Describir cuestiones generales sobre el proyecto Cri.Ar: usos previstos de un magnetómetro criogénico para rocas, disponibilidad en el mercado, requisitos solicitados a un eventual desarrollo, etc. Adicionalmente, describir el marco institucional y actores involucrados en el desarrollo, la planificación del proyecto y su ejecución contemplando entre otros aspectos: i) el diseño mecánico y sistema de vacío, ii) la termometría y criogenia, iii) el apantallamiento magnético, iv) el sistema de detección y v) el sistema de adquisición y software de control.</p>		
2. SOLICITANTE <p>Este documento se genera por solicitud del LaTe Andes S.A. (Laboratorio de Termocronología y Geocronología para Sudamérica y Andes Centrales), como un reporte de situación previa a informes específicos que desarrollan los aspectos antes mencionados.</p>		
Preparó		
Nombre y Apellido (Filiación)	Firma	
Pablo PEDRAZZINI (Lab. Bajas Temperaturas-CAB – CONICET – Instituto Balseiro)		
Javier LUZURIAGA (Lab. Bajas Temperaturas-CAB – CNEA – Instituto Balseiro)		
Víctor CORREA (Lab. Bajas Temperaturas-CAB - CONICET – Instituto Balseiro)		
Marcelo VÁSQUEZ MANSILLA (Lab. Resonancias Magnéticas-CAB – CONICET)		
Ignacio ARTOLA (Lab. Bajas Temperaturas-CAB – CNEA)		
Santiago HANSEN (Lab. Bajas Temperaturas-CAB – CNEA)		
Rodolfo FUENTES (Lab. Bajas Temperaturas-CAB – CNEA)		
Ernesto CRISTALLINI (Dep. Ciencias Geológicas-UBA – LaTe Andes S.A.)		
Nicolás HERNANDEZ (LaTe Andes S.A.)		
Mariano GÓMEZ BERISSO (Lab. Bajas Temperaturas-CAB – CONICET – Instituto Balseiro)		
Julio GUIMPEL (Lab. Bajas Temperaturas-CAB – CONICET – Instituto Balseiro)		
Aprobó		
Nombre y Apellido	Fecha	Firma
Alejandro FAINSTEIN	27-03-2019	 Dr. Alejandro FAINSTEIN Gerente FÍSICA
NOTA: Este documento es propiedad de CNEA y se reserva todos los derechos legales sobre él. No está permitida la explotación, transferencia o liberación de ninguna información en el contenido, ni hacer reproducciones y entregarlas a terceros sin un acuerdo previo y escrito de CNEA.		

INDICE

1. OBJETIVO.....	1
2. SOLICITANTE.....	1
3. INTRODUCCIÓN.....	3
4. ABREVIATURAS.....	4
5. DESARROLLO.....	4
5.1 La propiedad a determinar.....	4
5.2 Participantes del mercado de magnetómetros SRM.....	5
5.3 Campo de aplicación, motivación y marco del Proyecto, Instituciones participantes..	5
5.4 Objetivo planteado respecto a las características del magnetómetro SRM.....	6
5.5 Plan de trabajo propuesto.....	6
6. RESULTADOS.....	7
6.1 Descripción del sistema construido.....	8
6.2 Estado actual.....	9
7. CONCLUSIONES.....	9
8. REFERENCIAS.....	10
9. INFORMACIÓN DE CONTACTO.....	11

CNEA	Magnetómetro Cri.Ar: generalidades sobre el proyecto	INT-INN_03BT-002 Página: 3 de 10
-------------	---	-------------------------------------

3. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se enmarca dentro del proyecto Cri.Ar, que tiene por objetivo producir un prototipo de magnetómetro para realizar mediciones de magnetización remanente natural en muestras geológicas basado en sensores de bajas temperaturas denominados SQUIDs. Este tipo de mediciones tienen aplicación en la disciplina conocida como Paleomagnetismo y permite aportar información sobre la edad de estratos y componer modelos de sus plegamientos a partir de la determinación de la *magnetización vectorial remanente* de las muestras analizadas.

Los magnetómetros disponibles con mejor resolución para determinar dicha magnetización vectorial basan su detección en sensores de flujo magnético que deben ser enfriados a temperaturas del orden de 4 K (-269°C), manteniendo la muestra a analizar a temperatura ambiente. Adicionalmente, el relevamiento de estratos realizado en campaña produce gran número de muestras y cada una de ellas debe ser sometida a repetidos procesos de medición y posterior desmagnetización mediante campos alternos y/o tratamientos térmicos. Este condicionamiento implica que tanto la medición como el cambio de muestra deba ser un proceso ágil y automático. El problema general es complejo e involucra entre otras cuestiones:

- el diseño mecánico, incluyendo consideraciones particulares debidas a la necesidad de establecer alto vacío en el interior de la camisa externa del magnetómetro;
- el soporte estructural del magnetómetro y sistema de posicionamiento de muestras, contemplando los efectos perjudiciales que tienen las vibraciones mecánicas sobre la detección de señales de bajo nivel;
- la criogenica, incluyendo el sensado y control de la temperatura de la etapa fría del magnetómetro;
- los sistemas pasivos y activos de apantallamiento magnético tendientes a reducir campos espurios continuos o alternos en la zona de detección;
- el sistema de detección magnético basado en SQUIDs;
- el equipamiento accesorio, incluyendo horno para ciclado térmico y desmagnetizador alterno, y sus posibles interacciones con el magnetómetro propiamente dicho;
- los instrumentos de medición y el software de control del magnetómetro.

A continuación se da un marco a la necesidad de realizar mediciones sensibles de magnetización en rocas, se describe en forma sucinta el instrumental que permite hacerlo y se presentan cuestiones generales relativas al proyecto encarado.

4. ABREVIATURAS

CAB	Centro Atómico Bariloche
LBT	Laboratorio de Bajas Temperaturas del Centro Atómico Bariloche
LRM	Laboratorio de Resonancias Magnéticas del Centro Atómico Bariloche
NRM	magnetización remanente natural (<i>Natural Remanent Magnetization</i>)
PTR	refrigerador de tubo de pulsos (<i>Pulse Tube Refrigerator</i>)
SRM	magnetómetro para rocas basado en SQUIDs (<i>Superconducting Rock Magnetometer</i>)
SQUID	dispositivo superconductor de interferencia cuántica (<i>Superconducting Quantum Interference Device</i>)

5. DESARROLLO

5.1 La propiedad a determinar.

Como disciplina, el Paleomagnetismo estudia la evolución del campo magnético terrestre a lo largo del tiempo tanto a escala local como global. Su principal herramienta de estudio es la determinación de la *magnetización remanente natural* de las rocas, que contiene información sobre la orientación del campo magnético terrestre local en el momento en que se produjeron los principales procesos de su formación y/o transformación. Dicha magnetización remanente natural (NRM) de muestras estandarizadas es la propiedad que se desea determinar, tanto en magnitud como en dirección absoluta y relativa respecto al lugar en que se realizó el muestreo: se trata de una propiedad vectorial.

Tanto las rocas como los procesos fisicoquímicos que las afectan a lo largo del tiempo son complejos. Las rocas son en general heterogéneas: están compuestas por diversas especies químicas en estados estructurales diversos y distintas geometrías. Adicionalmente, a lo largo del tiempo posterior a los procesos de formación y de principales transformaciones, las rocas experimentan condiciones cambiantes de temperatura, presión, campo magnético, etcétera. Aparecen así otras contribuciones que se suman a la NRM primaria para dar la magnetización total de la muestra a analizar, entre ellas la magnetización remanente viscosa (VRM), la termoremanencia parcial (PTRM) y la remanencia isotérmica (IRM) [Collinson1983]. Para poder determinar la contribución primaria, de principal interés en la interpretación paleomagnética, es necesario reducir otras contribuciones. Se somete entonces a la muestra a procesos iterativos de medición y “lavados magnéticos”, consistentes estos en recocidos a distintas temperaturas a campo nulo o a la desmagnetización con campos alternos.

En una campaña de muestreo se obtienen gran cantidad de muestras que son estudiadas en forma individual y en forma colectiva mediante protocolos adecuados según el tipo de roca, número total de muestras y otras características particulares. Las muestras tienen un tamaño bien definido, típicamente cilindros de 25 mm de diámetro y 21 mm de altura, con su orientación claramente identificada: piso, techo y ángulo de la extracción. El volumen de material medido es de aproximadamente 10 cm³ con valores de magnetización típicas entre los 10⁻³ emu (rocas ígneas) y 10⁻⁸ emu (rocas sedimentarias, carbonatos) [Collinson1983]. Este amplio rango de valores puede ser medido mediante diversos tipos de magnetómetros, pero el rango de magnetizaciones más pequeñas sólo es cubierto en la actualidad (con protocolos normalizados) por los magnetómetros criogénicos que basan su detección en sensores de flujo de tipo SQUID [Collinson1983,Goree1976].

5.2 Participantes del mercado de magnetómetros SRM.

Los magnetómetros para roca basados en SQUIDS se empezaron a desarrollar a partir de la década del '70 [Goree1976]. Desde su inicio en el año 1981, 2G Enterprises (surgida de la unión entre William S Goree Inc. y Applied Physics Systems) constituyó la única empresa oferente en el mercado de este tipo de magnetómetros [2G]. Los modelos más recientes que se comercializan son los Model 755-4K y 760-4K SRM [WSGI]. Actualmente existe al menos una compañía extranjera adicional que ofrece magnetómetros SRM con prestaciones similares, el DRM-300 de Tristan Technologies Inc. [DRM-300].

Los magnetómetros SRM actualmente disponibles permiten la medición de la magnetización vectorial de muestras a temperatura ambiente mediante sensores de flujo magnético de tipo SQUID, con un rango dinámico amplio que va típicamente desde 10⁻⁸ emu a 1 emu, gran atenuación de campos magnéticos externos y sistemas de tipo “libre de helio líquido” o de sistemas mixtos que incorporan al baño de helio líquido un criogenerador para recondensar el evaporado.

CNEA	Magnetómetro Cri.Ar: generalidades sobre el proyecto	INT-INN_03BT-002 Página: 5 de 10
-------------	---	-------------------------------------

5.3 Campo de aplicación, motivación y marco del Proyecto, Instituciones participantes.

Sumado al interés básico que conlleva la determinación de la magnetización de rocas tanto en el Paleomagnetismo como en otras disciplinas de la Geología (ver por ejemplo [Collinson1983]), la medición de NRM tiene aplicación en la orientación espacial de coronas recuperadas de pozos utilizados en la exploración de hidrocarburos convencionales y no convencionales. Es en dicho contexto que La.Te. Andes S.A. (empresa mixta publico-privada conjunta entre Geomap S.A. y el CONICET) plantea la voluntad de realizar el diseño y construcción de una magnetómetro de tipo SRM destinado a medir un gran número de muestras provenientes de la demanda de Geomap S.A. Entre las cuestiones consideradas que reducen el costo total del proyecto están la experiencia previa reconocida de los laboratorios involucrados del CAB en la solución de problemas de criogenia y vacío, mediciones sensibles empleando SQUIDS, experiencia de uso del criogenerador empleado y de sistemas pasivos y activos de cancelación de campo magnético residual.

Las instituciones que se involucraron en el proyecto fueron La.Te. Andes S.A., el CONICET y la CNEA. Al proyecto se le dió marco formal a través de un Proyecto de Desarrollo Tecnológico y Social (PDTs) del CONICET, iniciado en Enero de 2017 y habilitado en Marzo de 2018, y la firma de un Convenio de Investigación y Desarrollo entre las tres Instituciones, del 12 de Junio de 2018.

5.4 Objetivo planteado respecto a las características del magnetómetro SRM.

El planteo realizado por La.Te. Andes S.A. fue el de construir un prototipo de magnetómetro SRM funcional a escala de laboratorio destinado a medir NRM en rocas con un grado de sensibilidad y precisión del orden de 10^{-8} emu. Se planteron además:

- un diseño en base a un criogenerador de ciclo cerrado, evitando la necesidad de uso de helio líquido;
- la capacidad de realizar el proceso de medición en forma automática para un lote de al menos 50 muestras, incluyendo los procesos iterativos de medición y desmagnetización parcial;
- el desarrollo del software de interfaz con el usuario para configurar y controlar los pasos del proceso a ejecutar.

5.5 Plan de trabajo propuesto.

El plan de trabajo propuesto en el marco del Convenio de Investigación y Desarrollo contempló diversos puntos a desarrollar durante los 15 meses que comprendieron desde Enero de 2017 a Marzo de 2018. El programa de tareas a desarrollar consistían en:

- el diseño conceptual, incluyendo la definición de las características físicas del sistema completo incluyendo la integración de sus partes y los parámetros de operación requeridos, a cargo del personal del CAB (LBT y LRM);
- el diseño y construcción del sistema automático de manipulación de muestras y su control, a cargo de La.Te. Andes S.A.;
- el diseño y construcción de instalaciones accesorias al magnetómetro: horno de desmagnetización térmica y desmagnetizador por campos alternos, a cargo de La.Te. Andes S.A.;
- la compra de los distintos componentes criogénicos del magnetómetro, a cargo de La.Te. Andes S.A.;
- el diseño detallado del sistema criogénico de medición y software de control, a cargo del personal del CAB;

- el mecanizado del sistema criogénico de medición, a cargo de La.Te. Andes S.A. y supervisión de personal del CAB;
- la integración y prueba de los distintos componentes del sistema criogénico, a cargo del personal del CAB y La.Te. Andes S.A., y
- la integración, pruebas y ajustes de los diversos componentes del sistema, a cargo del personal del CAB y La.Te. Andes S.A.

6. RESULTADOS

Las actividades concretas relacionadas con el proyecto Cri.Ar se iniciaron a mediados de Septiembre de 2016. En Octubre se iniciaron mediciones de magnetismo en materiales técnicos y en muestras geológicas adaptadas al magnetómetro MPMS de Quantum Design de tipo SQUID disponible en el LBT. Durante el mes de Noviembre se realizaron discusiones regulares sobre cuestiones generales, incluyendo simulaciones numéricas de cuestiones mecánicas y magnéticas asociadas al proyecto. A mediados de Marzo de 2017 se finalizó el esquema detallado escala 1:1 del magnetómetro, al que luego se incorporaron cambios menores. En paralelo se continuaron las pruebas de factibilidad (entre ellas las mediciones de magnetización de rocas mediante un sistema SQUID y un sistema de posicionamiento rudimentario), simulaciones numéricas, definiciones de compras a realizar, servicios a contratar, etcétera, dentro del programa preestablecido.

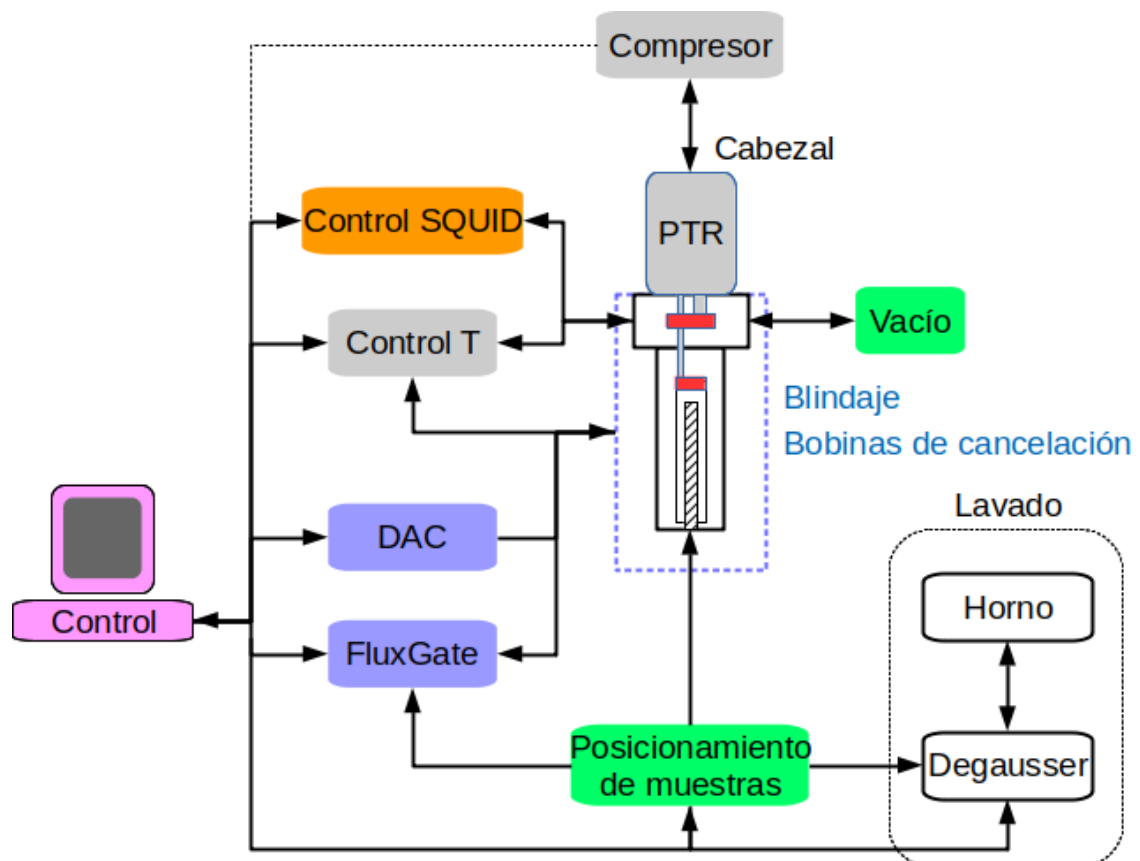


Figura 1: Esquema en que se representan las distintas partes que componen el magnetómetro criogénico en forma de bloques, y las interacciones entre bloques. Dichas interacciones son, de acuerdo al caso, comunicación digital, acción analógica, detección de señales, protocolos comunes, etc.

CNEA	Magnetómetro Cri.Ar: generalidades sobre el proyecto	INT-INN_03BT-002 Página: 7 de 10
-------------	---	-------------------------------------

6.1 Descripción del sistema construido

En la Figura 1 se esquematizan en forma de bloques las distintas partes que componen el magnetómetro, junto al equipamiento para realizar las tareas accesorias a la medición propiamente dicha. La parte ubicada en el centro del dispositivo representa al criogenerador de ciclo cerrado de tipo “tubo de pulso” (PTR) necesario para enfriar los sensores de flujo magnético tipo SQUIDs y una parte del sistema de apantallamiento magnético consistente en un blindaje superconductor. El sistema de detección es central: es refrigerado por el PTR y controlado por un sistema dedicado (“Control SQUID”, en color naranja) que tiene una interfaz digital con la computadora. Participa en el proceso de medición el sistema de “Posicionamiento de muestras” (en color verde).

Las muestras a medir se ubican de a lotes en una grilla plástica que forma parte del sistema de posicionamiento, ver Figura 2. Se selecciona una muestra y se la coloca automáticamente en el extremo de una varilla de baja magnetización (susceptibilidad) que la eleva al interior del magnetómetro. A partir de allí se ejecutan distintos protocolos que permiten determinar la magnetización en el plano horizontal (declinación) y a lo largo del eje vertical de la muestra (se puede entonces calcular la inclinación). Una estrategia adecuada de medición y análisis de los datos permite aumentar la resolución de los resultados obtenidos [CriArAdquisición]. Una vez determinada la magnetización, la muestra es retirada y puesta en su posición en la grilla, repitiéndose el ciclo con otra muestra.

Para lograr realizar las mediciones de magnetización remanente de los niveles previstos, es necesario apantallar al sistema de campos magnéticos externos por dos razones. En primera instancia, las muestras no sólo tienen remanencia sino que adoptan una magnetización adicional debida a la presencia de campos magnéticos externos (en general existe una correlación entre magnitud de la remanencia y la susceptibilidad magnética). Dicha magnetización tipo paramagnética o diamagnética debe ser reducida al valor mínimo posible mediante el apantallamiento del campo magnético terrestre y provenientes de otras fuentes externas. Esto se logra con un “Blindaje” compuesto, hecho de un material de muy alta permeabilidad magnética denominado metal- μ , y un arreglo de “bobinas de cancelación de campo” de tres ejes (representado con línea de puntos de color azul) [CriArBlindaje].

La segunda razón que justifica introducir un sistema de apantallamiento magnético es reducir la presencia de campos alternos que afecten a las bobinas de detección de flujo magnético asociadas a los SQUIDs [CriArDetección]. Dichos campos magnéticos pueden provenir tanto del exterior como del interior del sistema de medición. Se los redujo mediante estrategias adecuadas de construcción, mediante el blindaje de metal- μ y mediante un blindaje superconductor que “congela” el campo magnético en el momento en que se produce la transición superconductora. Dicha transición se controla con el sistema “Control T” en condiciones de campo nulo provisto por el arreglo de bobinas de cancelación de campo alimentada por un “DAC” y controlado por un magnetómetro de tipo “Fluxgate” [CriArBlindaje]. El Fluxgate interactúa con el sistema de posicionamiento, lo que permite cancelar el campo en todo el volumen ocupado por la muestra durante la medición.

El sistema de posicionamiento permite colocar las muestras dentro del volumen sensado por las bobinas captadoras [CriArDetección]. El proceso se puede realizar con excelente precisión tanto en altura como en ángulo. Esto es importante no sólo para el proceso de medición en sí, sino también para poder asegurar que las muestras son depositadas sobre la grilla recuperando su posición original sin adquirir una fase cambiante a lo largo de todo el proceso (monótona creciente o decreciente, en el peor de los casos). Este sistema fue diseñado por Endeavour Ingeniería.

CNEA	Magnetómetro Cri.Ar: generalidades sobre el proyecto	INT-INN_03BT-002 Página: 8 de 10
-------------	---	-------------------------------------

El bloque “Control T” (en color gris) permite registrar la temperatura del criogenerador a lo largo del tiempo para asegurar el correcto funcionamiento del sistema criogénico. Adicionalmente, se utiliza el control de temperatura en la etapa de cancelación de campo magnético residual, como ya se mencionó. El resto del sistema criogénico está compuesto por el PTR, ya mencionado, y por un “Compresor” (en color gris) que controla el flujo de gas helio en el “Cabezal” del PTR (el ciclo termodinámico mismo) [CriArCriogenia]. El compresor permite la opción de registrar su operación mediante una computadora (no implementado aún). Accesorio a la cuestión térmica está el bloque de “Vacío” (en color verde) que permite evacuar la camisa de vacío del magnetómetro previo a la puesta en marcha del PTR [CriArMecánico].

Dos bloques accesorios, identificados como “Horno” y “Degausser” (en blanco), forman parte del sistema de “Lavado” magnético. Consisten en un horno para tratamientos térmicos apantallado por un blindaje magnético de metal- μ , y en un desmagnetizador por campos magnéticos alternos también blindado. Las muestras pueden ser introducidas dentro del desmagnetizador mediante el sistema de posicionamiento. Estos sistemas accesorios han sido construidos y están siendo ensayados actualmente por La.Te. Andes S.A.

Finalmente, una computadora identificada como “Control” (en color fucsia) interactúa con la mayoría de los otros bloques y controla el proceso general. El programa de control se realizó en lenguaje VisualBasic [CriArAdquisición], e incorpora además un sistema de identificación de las muestras que incluye todo el historial de mediciones y tratamientos específicos realizados sobre una muestra o un lote de ellas.

6.2 Estado actual

El conjunto de bloques centrales a la operación del magnetómetro fueron ensamblados y ensayados en el Centro Atómico Bariloche. Se realizaron un total de 21 procesos de enfriado del conjunto a lo largo de los cuales se ensayaron distintas alternativas relacionadas con las cuestiones mecánicas, de vacío, criogenia, detección de señales, apantallamiento magnético, etcétera. El 20 de Marzo de 2018 se concluyeron dichos ensayos y el sistema se embolsó para su traslado a su sitio de instalación definitivo.

Desde el día 21 de Abril de 2018 el prototipo se encuentra operable en la sede de La.Te. Andes S.A. en la ciudad de Vaqueros, provincia de Salta, ver figura 2. Como servicios accesorios a la operación del magnetómetro existen una instalación de potencia que alimenta al compresor (del orden de 7 kW, trifásico) y línea de aire comprimido que se utiliza en el sistema de posicionamiento. La habitación se encuentra climatizada, asegurando una temperatura externa de operación constante. El compresor está instalado alejado del lugar de trabajo, en un ambiente insonorizado. La operación inicial manual realizada para iniciar el magnetómetro se encuentra descrita en la referencia [CriArManual].

7. CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un magnetómetro criogénico para rocas de sensibilidad adecuada al estudio de diversidad de muestras de interés en Paleomagnetismo. Dicho magnetómetro cuenta con un sistema automatizado que es capaz de manejar más de un centenar de muestras por lote. Su diseño en base a un criogenerador de tipo tubo de pulso, PTR, permite su rápida puesta en servicio (12 horas aproximadamente) sin la necesidad de manejar líquidos criogénicos. Las cuestiones particulares asociadas a las distintas partes del magnetómetro se detallan en informes accesorios.

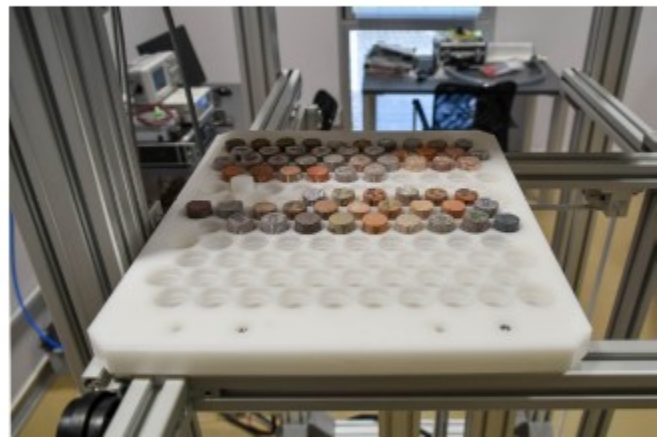


Figura 2: Fotografía del magnetómetro en su sitio de operación en la provincia de Salta (izquierda). A la derecha se observa la grilla móvil cargada con dos lotes de muestras a ser medidas (crédito imágenes: La.Te. Andes S.A.).

CNEA	Magnetómetro Cri.Ar: generalidades sobre el proyecto	INT-INN_03BT-002 Página: 10 de 10
-------------	---	--------------------------------------

8. REFERENCIAS

[CriArAdquisición] “*Magnetómetro Cri.Ar: adquisición y procesamiento de datos*”, J. Guimpel *et al.*, Informe técnico CNEA INT-INN_03BT-007 (2019).

[CriArBlindaje] “*Magnetómetro Cri.Ar: apantallamiento magnético*”, M. Vásquez Mansilla *et al.*, Informe técnico CNEA INT-INN_03BT-004 (2019).

[CriArCriogenia] “*Magnetómetro Cri.Ar: aspectos térmicos y criogenia*”, P. Pedrazzini *et al.*, Informe técnico CNEA INT-INN_03BT-005 (2019).

[CriArDetección] “*Magnetómetro Cri.Ar: sistema de detección*”, V.F. Correa *et al.*, Informe técnico CNEA INT-INN_03BT-006 (2019).

[CriArManual] “*Magnetómetro Cri.Ar: puesta en marcha manual*”, P. Pedrazzini *et al.*, Informe técnico CNEA INT-INN_03BT-008 (2019).

[CriArMecánico] “*Magnetómetro Cri.Ar: diseño mecánico y vacío*”, M. Gómez Berisso *et al.*, Informe técnico CNEA INT-INN_03BT-003 (2018).

[Collinson1983] “*Methods in rock magnetism and Palaeomagnetism: Techniques and Instrumentation*”, D.W. Collinson (Springer, Dordrecht, 1983).

[Goree1976] “*Magnetometers using RF-driven Squids and their applications in rock magnetism and Paleomagnetism*”, W.S. Goree y M. Fuller, Rev. Geophys. Space Phys. **14** (1976) 591.

[DRM-300] tristantech.com/pdf/DRM-300_data_sheet_v.1.pdf

[WSGI] www.wsgi.us/WSGI/SRM.html

[2G] www.2genterprises.com/

9. INFORMACIÓN DE CONTACTO

Por información referida a este reporte, contactarse con Pablo Pedrazzini (responsable del informe: pedrazp@cab.cnea.gov.ar), Julio Guimpel (responsable científico del proyecto: jguimpel@cab.cnea.gov.ar) o Nicolás Hernández (responsable por parte de LaTe Andes SA: hernandezn@lateandes.com).