

## Implementación del método geomagnético marino en el conocimiento del territorio marítimo colombiano

Oviedo, K. (1) (2); Jigena, B. (2); Muñoz, J. J. (2); Otálora, N. (1); Contreras, F. (2)

(1) Centro de Investigaciones Oceanográfica e Hidrográficas del Caribe, Cartagena Colombia; Ing.karemoviedo@gmail.com; NOtalora@dimar.mil.co

(2) Universidad de Cadiz, Puerto Real (Cadiz), España; ing.karemoviedo@gmail.com; bismarck.jigena@gm.uca.es; juanjose.munoz@uca.es

**Resumen:** El Servicio Hidrográfico Nacional Colombiano encabezado por la Dirección General Marítima – DIMAR, ha desarrollado en los últimos años el método geomagnético marino en aras de fortalecer la investigación científica de territorio marítimo colombiano. En este sentido, se ha fortalecido con la adquisición de sensores de última tecnología, así como de capacitaciones y personal especializado en el método geofísico. La implementación del método geomagnético no solo ofrece la oportunidad de avanzar en el conocimiento científico básico, sino que también es de suma importancia como apoyo en lo que concierne al tema de la soberanía nacional. Los usos más representativos del método geomagnético, y de mayor interés para la DIMAR son: localización de tuberías y detección de artillería enterrada, identificación de sitios de interés arqueológico, y caracterización de estructuras geológicas, entre otras aplicaciones.

**Palabras clave:** Geomagnetismo marino, Geofísica marina, DIMAR.

### 1. INTRODUCCIÓN

Es ampliamente conocida la utilización del método geomagnético a nivel mundial, por sus diversas aplicaciones de forma local, y regional. Debido a sus altos costos (que implica equipamientos y desarrollo logístico) y múltiples aplicaciones, este método geofísico es generalmente realizado por empresas privadas extranjeras con fines comerciales, lo cual se convierte en una desventaja para las entidades estatales dedicadas a la ciencia y la investigación marina, que cuentan con asignaciones presupuestales limitadas. Por lo tanto, se puede resumir que la exploración geofísica es dominada por empresas extranjeras consolidadas que componen todo el mercado, incluidos esos servicios de poca oferta como lo son gravimetría y magnetometría (Gallego et al., 2015)

La Dirección General Marítima (DIMAR) dio inicio al proyecto “Geomagnetismo Marino” en el año 2015, con el fin de recuperar la capacidad investigativa, a través de la utilización del magnetómetro marino G-882 de Geometrics. Una de las actividades de recuperación, incluía capacitación sobre el manejo del sensor magnético y la adquisición de datos. Por lo anterior, se elaboró un documento (DIMAR et al., 2015) donde se recopiló una vasta base de datos y manuales que sirvieron de base para la elaboración de la siguiente metodología de trabajo geofísico

### 2. METODOLOGIA

FASE 1. Planeación de la campaña de adquisición. En esta etapa se da inicio al establecimiento de la forma del levantamiento geofísico, se estiman los tiempos, los insumos necesarios y los posibles imprevistos que se pueden presentar en altamar. Antes de realizar la planeación de la adquisición de datos, inicialmente se debe tener en cuenta el objetivo de estudio y la escala de trabajo (local o regional). De éstos dependerá la configuración y la extensión de las líneas a adquirir (ver Fig. 1).

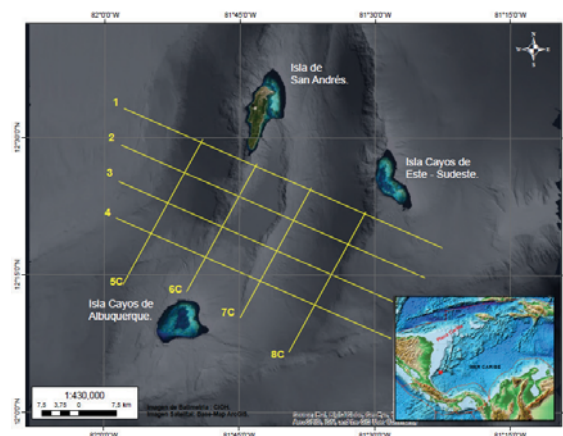


Fig. 1. Líneas y Zonas de levantamiento.

Es necesario contar con información magnética adicional, ya sea de observatorios magnéticos o de una estación base cercana al área de levantamiento, con el fin de mejorar la calidad de la información. Para este caso se utiliza una estación base G-862 RBS Geometrics (Fig. 2)



Fig. 2. Instalación de Estación Base Geometrics RBS G-862.

#### FASE 2. Adquisición de la información

Las plataformas de investigación oceanográfica ARC Roncador, ARC Malpelo y ARC Providencia, están capacitadas para operar con el magnetómetro marino Geometrics G-882 (Geometrics, 2005), propiedad de la DIMAR. Este tiene un rango de detección amplio para materiales ferrosos de varios tamaños y una sensibilidad  $<0.004 \text{ nT}/\pi\text{Hz rms}$ , lo que aumenta la probabilidad de detección. Cuenta además con un diseño hidrodinámico que ayuda a disminuir la probabilidad de incrustación en rocas, y opera hasta aproximadamente 2750 m de profundidad, con temperaturas desde  $-35^\circ\text{C}$  a  $50^\circ\text{C}$ . El sensor de vapor de cesio, se encuentra en la parte posterior del “pescado” en el cilindro que forma una T con el eje más largo (Fig. 3), en donde se puede modificar la orientación del sensor, que será vertical ya que el trabajo se llevará a cabo en latitudes ecuatoriales. Finalmente, el Intervalo de muestreo desde una (1) muestra cada 3 segundos, hasta veinte (20) muestras por segundo, con una exactitud absoluta de  $<2 \text{ nT}$ .



Fig. 3. Plataforma de investigación ARC Providencia, Magnetómetro marino Geometrics G-882, Winche de investigación geofísica de 2800 m a bordo del ARC Providencia.

Para salir a campo se debe tener en cuenta algunos elementos indispensables para llevar a cabo la

adquisición de una manera óptima. Por ejemplo, el sensor magnetométrico, el winche portable que cuenta con 300 m de cable de telemetría, que se adapta perfectamente para llevar a cabo la recolección de la información geofísica. Por otra parte, el buque ARC Providencia tiene una adaptación especial, ya que cuenta con un winche de 2800 m de cable de telemetría y una adaptación abordo en el laboratorio de geología (laboratorio del buque), en donde se encuentra el centro de cómputo, y en donde los datos magnéticos son visualizados y almacenados en tiempo real (Fig. 4).

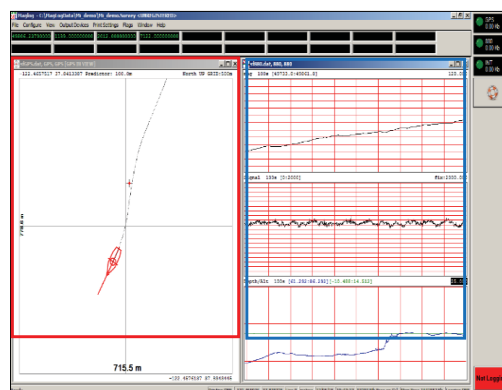


Fig. 4. Visualización en tiempo real de información geomagnética en el software MagLog.

La adquisición se realiza con ayuda del personal del buque, y teniendo en cuenta ciertos lineamientos, como por ejemplo una velocidad máxima de 5 nudos y una separación del sensor de por lo menos 3 veces, la eslora del ARC Providencia es de 50 m, por lo tanto la separación del sensor sería de 150 m, como mínimo. Importante tener en cuenta que debe de estar en modalidad arrastre por popa. Para la georreferenciación de los datos adquiridos se siguen las normas de la OHI (OHI, 2008) y también se ha tomado en cuenta la metodología propuesta por Jigena et al. (2016)

Las distintas etapas involucradas en la adquisición de información geomagnética marina, están sometidas a una serie de decisiones que pueden afectar radicalmente el resultado final de la investigación. Existen varios errores usuales que se pueden cometer a lo largo del proceso, los que se pueden dividir según la etapa de desarrollo en la que se encuentre el estudio. Existen, por lo tanto, errores frecuentes relacionados con la planeación, que involucran un mal diseño de las líneas a adquirir, en donde puede ser difícil discernir la forma exacta y tamaño de la anomalía; una medición tiene interés solamente si se conoce el margen de error que puede tener esta medida. Lo que se interpreta, es una colección de datos, por lo que el muestreo tiene que ser de acuerdo con la dimensión del objetivo a alcanzar. Otro tipo de errores están asociados con los equipos de medición,

que puede inducir a lecturas erradas, y afectar la calidad de los datos; errores de los operadores, errores de muestreo, y errores asociados a ruido ambiental, entre otros.

### 3. RESULTADOS

En el ejercicio de la aplicación metodológica, se presentaron algunos contratiempos en cuanto a lo planeado, esto debido a temas logísticos de la embarcación, también cabe mencionar que el levantamiento de información fue realizado a bordo del buque ARC Roncador con un winche portable de 300m. El arreglo geométrico tuvo que ser un poco menos extenso que el planeado originalmente como se observa en la figura 5.

El estudio geofísico comprende los datos recolectados entre los días 20 de Junio y 1 de Julio de 2018, en una zona al sur de la Isla San Andrés, con cuatro líneas perpendiculares a la dirección general de las estructuras geológicas, con una longitud máxima de 70,67 km, y cuatro líneas en sentido paralelo a dichas formaciones y 31 km de longitud máxima, se conserva un arreglo geométrico en forma de grilla que permita brindar una buena resolución para un estudio geológico regional.

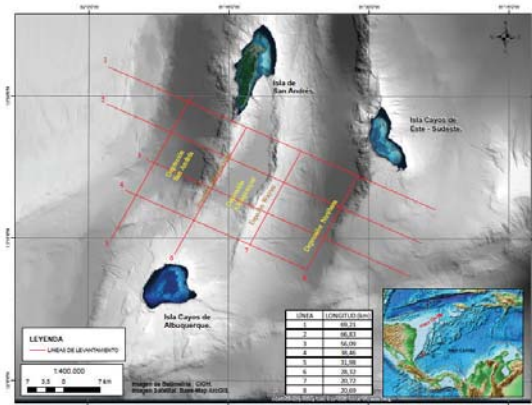


Fig. 5. Arreglo geométrico de la adquisición geomagnética..

Se presenta el mapa de campo total de los datos levantados (Fig. 6). Allí se observa la superficie magnética de los datos adquiridos luego de ser sometidos al procesamiento en donde tuvieron correcciones de variación diurna, retraso, orientación en grados y del modelo del campo geomagnético internacional (IGRF). Se observa una anomalía significativamente positiva en la zona este, sobre la Depresión Nutibara. Las variaciones en nanoteslas se visualizan en un rango de (-170.48nT a 159.37nT)

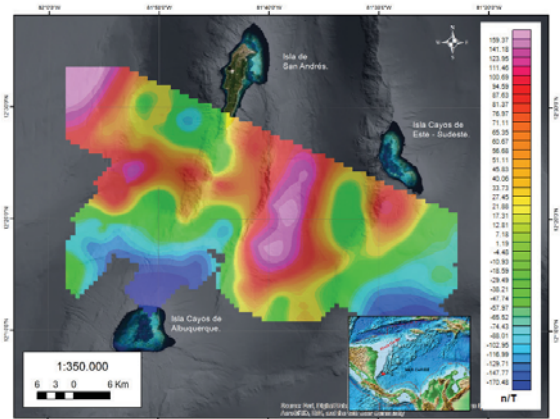


Fig. 6. Superficie geomagnética del campo total con correcciones.

### 4. CONCLUSIONES

- La metodología para la adquisición geomagnética marina se convierte en el primer precedente de investigación geofísica marina al servicio de la soberanía colombiana.
- Aunque la exploración geofísica es dominada por empresas extranjeras consolidadas, la DIMAR, ahora se encuentra en la capacidad de ofertar servicios geofísicos de magnetometría.
- Luego de muchos esfuerzos y pruebas de campo en el Caribe Colombiano, se logra obtener la estandarización del procedimiento de adquisición geomagnética como un producto metodológico que ofrece una obtención de información geomagnética marina de alta calidad

### Agradecimientos

Este trabajo fue realizado en el marco del proyecto “Geomagnetismo Marino” de la Dirección General marítima y el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe, a quienes los autores agradecen por todo el apoyo prestado en dicha labor, también se reconoce la excelente labor del personal del buque oceanográfico ARC Roncador por su entrega y profesionalismo.

### REFERENCIAS

- Anon. (1988). 1987 International geoscience and remote sensing symposium - IGARSS '87 - Remote sensing: Understanding the earth as a system. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 26(5), 502–698.
- Ariffin, K. S. (1879). Geophysical Surveying Using Magnetism Methods. Geofizik Carigali, 1–35.

- Carvajal, L. C., & Mann, P. (2015). Petroleum System Analysis of the Nicaraguan Rise and Colombia Basin: A Regional Overview from Seismic and Well Data \*. Search and Discovery, 10736.
- Carvajal-Arenas, L. C., & Mann, P. (2018). Western Caribbean intraplate deformation: Defining a continuous and active microplate boundary along the San Andres rift and Hess Escarpment fault zone, Colombian Caribbean Sea. AAPG Bulletin, 102(8), 1523–1563.
- Concha, A. E., & Macía, C. (1993). Caracterización y Clasificación geoquímica de las Rocas volcánicas de Providencia en el Caribe colombiano. Geología Colombiana, 18, 137–142.
- Couch, R., & Woodcock, S. (1981). Gravity and structure of the continental margins of southwestern Mexico and northwestern Guatemala. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 86(B3), 1829–1840.
- De Albornoz, F. J. P. C. (2002). El Instituto Hidrográfico de la Marina. Arbor, 173(682), 365–883.
- Denver Processing Center Inc. (1979). Los Cayos area of Caribbean Sea.
- DIMAR, Peláez, J., & Oviedo, K. (2015). Manual de adquisición y procesamiento de información geomagnética. 180.
- Ecopetrol. (1984). Interpretación geológica preliminar de la información sísmica del programa Los Cayos - 82". 52 p.
- Gallego, J. M., Jaramillo, H., & Patiño, A. (2015). Servicios intensivos en conocimiento en la industria del petróleo en Colombia. Servicios Intensivos En Conocimiento En La Industria Del Petróleo En Colombia.
- García, J. I., García-varón, J., & León, H. (2018). SUBMARINE GEOMORPHOLOGY AND GEOTECTONIC CONTEXT OF AN INTRAPLATE VOLCANIC PROVINCE IN WESTERN COLOMBIAN CARIBBEAN.
- Geotem. (n.d.). Geotem - Magnetometría Marina. Retrieved June 9, 2020, from <http://www.geotem.com.mx/marinos4.php>
- Geister, J., & Díaz, J. (2002). Ambientes arrecifales y geología de un archipiélago oceánico: San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Mar Caribe, Colombia (Guía de Campo). INVEMAR, Santa Marta.
- Geister, J. (1992). Modern reef development and Cenozoic evolution of an oceanic island/reef complex: Isla de Providencia (Western Caribbean Sea, Colombia). Facies, 27(1), 1.
- Graterol, V. (2005). Basic principles and applications of the Gravity and Magnetic Exploration methods.
- Hinze, W. J., Von Frese, R. R. B., & Saad, A. H. (2013). Gravity and magnetic exploration: Principles, practices, and applications. Cambridge University Press.
- Hernandez, O. (2006). Tectonic analysis of northwestern South America from integrated Satellite, airborne and surface potential field anomalies. The Ohio State University.
- Holcombe, T. L., Ladd, J. W., Westbrook, G. K., & Edgar, N. T. (1990). Caribbean marine geology; ridges and basins of the plate interior. The Caribbean Region, The Geology of North America, Vol. H, Geological Society of America, 231–260.
- Introcaso, A., Ghidella, M. E., Ruiz, F., Crovetto, C. B., Introcaso, B., & Paterlini, C. M. (2008). Métodos gravi-magnetométricos modernos para analizar las características estructurales de la plataforma continental argentina. Geoacta, 33, 1–20.
- Jigena, Bismarck; Berrocoso, Manuel; Torrecillas, Cristina; Vidal, Juan; Barbero, Ignacio and Fernandez-Ros, Alberto. 2016. Determination of an experimental geoid at Deception Island, South Shetland Islands, Antarctica. Antarctic Science, Vol 28(4), pp 277–292, doi:10.1017/S0954102015000681
- Melrose, J., Perroy, R., & Careas, S. (2015). An Introduction to Exploration Geophysics. In Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015 (Vol. 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Mochales, T. (2006). Prospección magnética aplicada a la detección y caracterización de dolinas en el entorno de Zaragoza. 222.
- Nabighian, M. N. (1984). Toward a three-dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert transforms: fundamental relations. Geophysics, 49(6), 780–786.
- NOAA, N. C. for E. I. (n.d.). Magnetic Declination, Models, Data and Services | NCEI.
- OHI (Organización Hidrográfica Internacional). 2008. Normas de la OHI para los levantamientos hidrográficos. Publicación Especial No. 44, 5a Edición, Febrero 2008, Publicado por el Bureau Hidrográfico Internacional, Mónaco.