



REVISTA TÉCNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Una Revista Internacional Arbitrada
que está indizada en las publicaciones
de referencia y comentarios:

- SCOPUS
- Compendex
- Chemical Abstracts
- Metal Abstracts
- World Aluminium Abstracts
- Mathematical Reviews
- Petroleum Abstracts
- Current Mathematical Publications
- MathSci
- Revenct
- Materials Information
- Periódica
- Actualidad Iberoamericana

UNIVERSIDAD DEL ZULIA



REVISTA TÉCNICA
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Hacia los 130 años de creación de la Universidad del Zulia

"Buscar la verdad y afianzar los valores trascendentales", misión de las universidades en su artículo primero, inspirado en los principios humanísticos. Ley de Universidades 8 de septiembre de 1970.

Mathematical model of the earth's magnetic anomalies

*Fausto Freire Carrera**¹ , *Egor Shilenkov*² , *Evgeny Titenko*³ , *Sergey Frolov*³ ,
*Aleksey Shitov*² 

¹Facultad Ciencias de la Ingeniería e Industrias, Universidad UTE, Quito, Ecuador

²Centro de investigaciones y Desarrollo. Universidad del Suroeste de Rusia, Apartado 305040, Kursk, Federación de Rusia.

³Instituto de Investigación de Sistemas Radioelectrónicos, Universidad del Suroeste de Rusia, Apartado 305040, Kursk, Federación de Rusia.

*Autor de Contacto: ffreire@ute.edu.ec

<https://doi.org/10.22209/rt.ve2020a05>

Recepción: 31/10/2019 | Aceptación: 31/01/2020 | Publicación: 01/03/2020

Abstract

The measurement of the Earth's magnetic field has a highly practical and scientific importance. The precise knowledge of the components of the Earth's magnetic field plays a key role in navigation tasks, search for deposits of minerals such as iron and others. The study of magnetic anomalies is of significant practical importance since these can be directly related to the existence of oil and gas fields, mineral deposits and can also serve as an indirect sign of the location of different types of metal ores. The objective of this work was the formulation of a mathematical model for the measurement of anomalies in the Earth's magnetic field through the use of the "Ecuador-UTE" nanosatellite. The generated equations and the model based on recognition patterns of the magnetic field will allow greater precision in the identification of areas with anomalies in the magnetic field, thereby improving the processes of telecommunications, navigation and mining exploration.

Keywords: Magnetic field; Nanosatellite; Land.

Modelo matemático de las anomalías magnéticas de la tierra

Resumen

La medición del campo magnético de la Tierra, tiene una importancia práctica y científica extremadamente importante. El conocimiento preciso de los componentes del campo magnético de la Tierra juega un papel muy importante en tareas de navegación, búsqueda de depósitos de minerales tales como hierro y otros. El estudio de anomalías magnéticas tiene una importancia práctica significativa ya que estas pueden estar directamente relacionadas con la existencia de fuentes de petróleo y gas, minerales y también puede servir como un signo indirecto de la ubicación de distintos tipos de metales. El objetivo de este trabajo fue la formulación de un modelo matemático para determinar las anomalías en el campo magnético terrestre mediante el uso del nanosatélite "Ecuador-UTE". Las ecuaciones generadas y el modelo basado en patrones de reconocimiento del campo magnético permitirán una mayor precisión en la identificación de áreas con anomalías en el campo magnético, mejorando de esa manera los procesos de telecomunicaciones, navegación y exploración minera.

Palabras clave: Campo magnético; Nanosatélite; Tierra.

Introducción

La medición del campo magnético de la tierra, tiene una importancia práctica y científica extremadamente importante. El conocimiento preciso del comportamiento del campo magnético terrestre juega un papel muy importante, en tareas de navegación y búsqueda de minas de hierro. El determinar y posteriormente estudiar las anomalías magnéticas terrestres tiene una importancia práctica significativa, ya que estas pueden estar directamente relacionadas con la existencia de yacimientos de petróleo, gas y minerales, así como también pueden ser un signo indirecto de la existencia de distintos tipos de metales.

La Anomalía Magnética terrestre más conocida de Rusia es la de Kursk (AMK), que se extiende por un área de 125.000 Km², en la parte central de Rusia (Figura 1); en esta anomalía se encuentra una de las minas de hierro más grande del mundo, con una extensión de 70.000 km²[1], dónde la intensidad del campo magnético prácticamente triplica la intensidad estándar en el planeta.



Figura 1. Anomalía magnética de Kursk.

Otra anomalía se encuentra en el hemisferio sur, cubre un área de aproximadamente 8×10^6 km² y recibe el nombre de Anomalía Magnética Brasileña o del Atlántico Sur (AMB).

En la Figura 2, se muestra la AMB ubicada en gran parte de América del Sur y parte del océano Atlántico y África. Debido a una serie de razones físicas de naturaleza terrestre como: la dirección del flujo magnético, el incremento del nivel de radiación sobre la anomalía magnética, etc.; el campo magnético en esta zona es menos intenso que el nivel promedio del planeta.

Durante el vuelo de los satélites y de las naves espaciales, especial interés se presta al estudio del campo magnético terrestre, los datos obtenidos de las mediciones realizadas permiten tener estimaciones analíticas

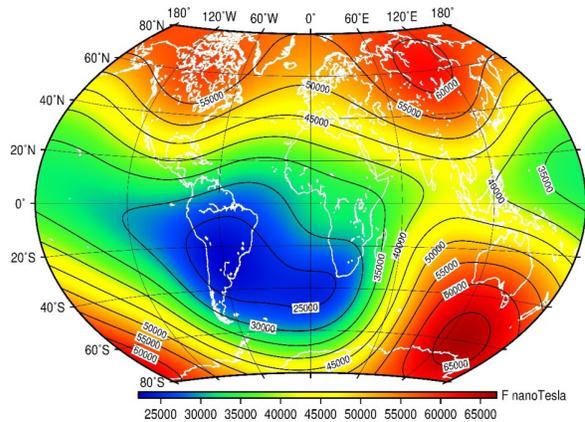


Figura 2. Anomalía Magnética Brasileña (AMB).

generalizadas del campo magnético, que se pueden extrapolar a otras áreas geográficas aun no investigadas [6], con la finalidad de identificar anomalías magnéticas o calcular desviaciones entre las mediciones reales y los datos teóricos.

A partir del análisis analítico de las características del campo magnético de la tierra se puede localizar zonas con anomalías, determinadas mediante metodologías de reconocimiento de patrones [6], en determinadas áreas geográficas. En este caso la precisión de las mediciones satelitales pasa a un segundo plano, siendo de primordial importancia el volumen de datos estadísticos recopilados sobre determinadas zonas geográficas.

Para medir el campo magnético de la tierra, han demostrado su factibilidad los satélites de tipo Cubesat, como es el caso del nanosatélite "Ecuador-UTE", el cual posee un sensor para medir el campo magnético terrestre. Adicionalmente, este tipo de nanosatélites poseen ventajas como: son dispositivos económicos de alta tecnología; tienen una vida útil que oscila entre los 1,5 y 5 años dependiendo de la altura de sus orbitas; el costo del lanzamiento y operación en comparación con los macrosatélites es mucho más económico[2], [3].

Investigaciones llevadas a cabo al sureste de Siberia occidental, muestran manifestaciones únicas del campo magnético, sobre los yacimientos de diferentes tipos de minerales. Por lo cual, se han realizado procedimientos especializados de análisis basados en la transformada de Fourier, con los datos obtenidos de exploración magnética y esto ha permitido la separación y descripción cuantitativa de anomalías micro-magnéticas, y que con cierto grado de probabilidad permiten determinar la existencia de yacimientos [7], [8], [9].

La identificación y estimación de las anomalías magnéticas son de trascendental importancia con el propósito de crear mapas magnéticos de la tierra de

alta precisión, sobre los cuales se identifican las áreas con características magnéticas similares, y de esta forma mejorar las tareas de navegación y exploración de yacimientos mineros, no obstante el campo magnético de la tierra, no se ha investigado en su totalidad, a pesar de contar con satélites y herramientas de alta precisión.

En este sentido el objetivo de esta investigación fue la formulación de un modelo matemático, para la simulación y estimación de anomalías en las mediciones del campo magnético terrestre, realizadas por el Cubesat 3U "Ecuador-UTE" (figura 3), el cual proporcionó un volumen importante de datos de alta calidad.

Materiales y Métodos

El nanosatélite "Ecuador-UTE" presentado en la Figura 3, fue colocado en órbita heliosíncrona a una altura de 530 km, el 5 de julio del 2019 a las 05:41 UTC, mediante el cohete portador Soyuz-2.1B, junto con el satélite <<Meteor-M>>Nº2-2, desde el cosmódromo Vostochny de la Federación de Rusia, posee la forma de un paralelepípedo de 100x100x340,5 mm, y una estructura sólida de aluminio.

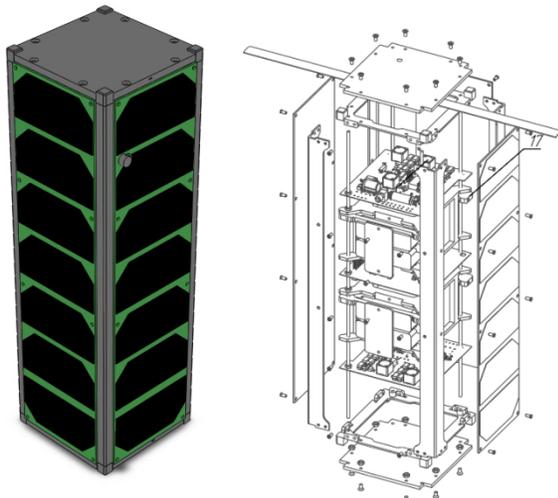


Figura 3. Nanosatélite "Ecuador-UTE" (HC1PX)

La frecuencia de transmisión del nanosatélite es 437.05 MHz, modulación FM, con un ancho de banda 25 kHz y modulación analógica-audio (mono), el protocolo de telemetría es analógico AX.25, con velocidad de transmisión de datos a 1200 baud/s. La transmisión de imágenes desde el nanosatélite se realiza mediante el protocolo SSTV en formato BW12. La primera recepción de señal del nanosatélite se realizó el 5 de julio del 2019, a las 12: 13 UTC, por la estación R4UAB(Figura 4).

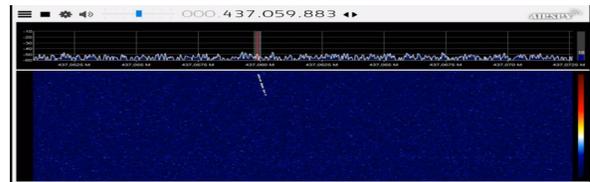


Figura 4. Recepción deseñal del HC1PX

La recepción de información en tierra, se realizó usando una antena helicoidal instalada sobre un rotor, un amplificador de bajo ruido (LNA), receptor SDR (12 bits) y un microcomputador Raspberry Pi (Figura 5).

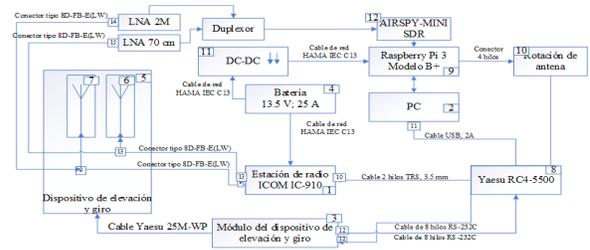


Figura 5. Estructura de la estación terrena.

Los datos de la telemetría referentes a la medición del campo magnético de la tierra se realizaron con intervalos de 30 s, esta información fue almacenada y posteriormente procesada utilizando los programas: SDRSharp y MULTIPSK.

Resultados y Discusión

Durante el sobrevuelo del nanosatélite sobre las zonas con anomalías, se realizaron una serie de mediciones (8 series), para posterior visualización y correcto análisis, fueron normalizados a unidades relativas [4], esto garantizo la adecuada realización de los cálculos.

En la Figura 6, se presenta los resultados de las mediciones las cuales verifican la existencia de la anomalía ubicada en américa del sur y el océano atlántico (AMB), la figura muestra una concavidad que evidencia un debilitamiento del campo magnético de la tierra, lo que podría ser consecuencia el deterioro de la capa de ozono, afectando a satélites que se ubiquen entre 400 y 500 km de altura; al funcionamiento adecuado de los sistemas de posicionamiento GPS, etc.

A partir de los datos obtenidos (Figura 6) se estimó la aproximación a una función de tipo polinómica de segundo orden, que se expresa Ecuación 1, la cual posee un coeficiente de correlación $R^2 = 0,8923$

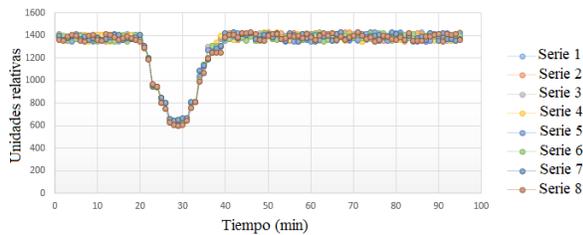


Figura 6. Variación del campo magnético en la AMB

$$y = 8,4895 x^2 - 431,6172x + 7898,375 \quad (1)$$

La segunda zona investigada con el nanosatélite "Ecuador-UTE", fue la ubicada en la región central rusa (AMK). En la Figura 7, se presenta los resultados de las mediciones, las cuales verifican la existencia de la anomalía, la figura muestra un incremento del campo magnético, lo que sería consecuencia de la presencia de uno de los depósitos de hierro más grandes del mundo, teniendo afectaciones tanto para los seres vivos como para el correcto funcionamiento de sistemas electrónicos.

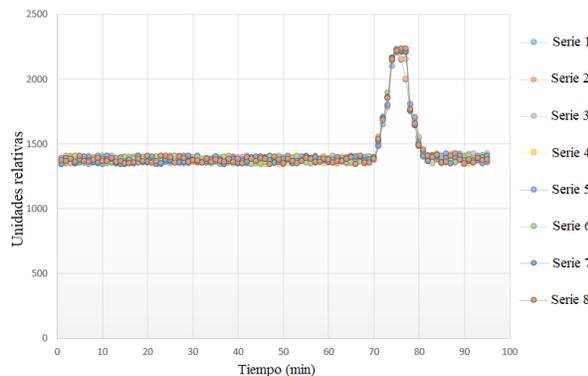


Figura 7. Campo magnético medido en AMK

Para esta zona se determinó una función de segundo orden, la cual se expresa en la Ecuación 2 y se aproxima a los datos obtenidos, al presentar un $R^2 = 0,8346$.

$$y = -22,671 x^2 - 3435,7x + 178087 \quad (2)$$

En contraste con las zonas con presencia de anomalías, las regiones normales de la superficie de la tierra, que varían entre 3000 km y 9000 km se describieron mediante una función lineal promediada, expresada en la Ecuación 3, cuyo $R^2 = 0,5038$.

$$y = 2 \cdot 10^{-8} x^6 - 2 \cdot 10^{-5} x^5 - 0,0043 x^4 - 0,515 x^3 + 31,637 x^2 - 975,11 x + 13291 \quad (3)$$

En la Figura 8, se muestran las mediciones del campo magnético terrestre realizadas por el nanosatélite durante un período aproximado de un mes, en sectores

donde no existen anomalías del campo magnético, esto se evidencia en la moderada variación de la intensidad, con respecto a las zonas con anomalías.

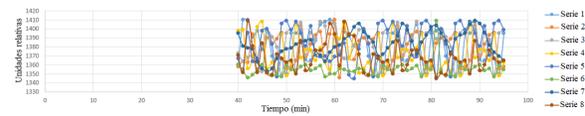


Figura 8. Superficie terrestre con un campo magnético normal

Del análisis de los datos obtenidos producto de la medición del campo magnético en las zonas AMK y AMB, se desprende que su descripción puede ser representada como una función parabólica. En consecuencia, al validar los datos del campo magnético de regiones inexploradas de la tierra, estos modelos matemáticos pueden ser utilizados como un instrumento de predicción con cierto nivel de precisión.

Los resultados del estudio del campo magnético mediante el uso del nanosatélite Ecuador-UTE permitió la formulación de un sistema de ecuaciones polinómicas que permiten identificar y reconocer anomalías magnéticas que aún no habían sido identificadas; además se construyó un modelo de soporte para el reconocimiento de patrones de un campo magnético, basado en la telemetría, el cual permitirá mejorar la eficiencia de la aplicación del estudio del campo magnético en áreas con anomalías para su uso en aplicaciones telemáticas y de exploración minera.

Conclusiones

Las ecuaciones generadas y el modelo basado en patrones de reconocimiento del campo magnético permitirán una mayor precisión en la identificación de áreas con anomalías, mejorando de esa manera los procesos de telecomunicaciones, navegación y exploración minera.

A través de nanosatélites con la misma órbita se obtuvo un levantamiento continuo de la información referente al campo magnético terrestre, lo cual permitió la construcción de patrones de su comportamiento en función de los cambios ocurridos en el mismo durante un intervalo de tiempo estudiado.

El uso de nanosatélites tipo Cubesat 3U, permite identificar las zonas con anomalías en la superficie de la tierra utilizando metodologías de reconocimiento de patrones.

Agradecimientos

A la Universidad UTE, Ecuador por el apoyo financiero al proyecto.

Referencias Bibliográficas

- [1] Alexander P.: "Rational subsoil use in the iron ore industry Provinces of the Kursk magnetic anomaly", Department of geography and GeoEcology Belgorod state University, (2010).
- [2] Tsyplakov Yu. V. and Shilenkov E. A.: "Comparative analysis of special tools for measuring the real attenuation of electromagnetic waves and quality control of shielding group protection", *Izvestiya of the South-Western state University. Series: Management, computer engineering, computer science. Medical instrumentation*, Vol. 2-3, (2012), 32-37.
- [3] Mukhin, I. E. and Shilenkov E. A.: "Method of parametric synthesis of antenna-feeder, radio-receiving and demodulator means of the signal-receiving path of modern telecommunications systems", *Izvestiya of the South-Western state University, Series: Management, computer engineering, computer science. Medical instrumentation*, Vol. 2-3, (2012), 110-115.
- [4] Vorobyov K. A., Kosilov I. S., Lobov E. M. and Shilenkov E. A.: "Broadband multi-frequency signal-code structures for transmitting information through the ionospheric channel", *Izvestiya of the South-Western state University. Series: Management, computer engineering, computer science. Medical instrumentation*, Vol. 2-3, (2012), 41-46.
- [5] Titenko E.A., Katykhin A.I., Kurochkin A.G., Lotorev P.V., Skopin D.E. and Pykhtin A.I.: "Multilayer geoinformation data access and representation model". *Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol.14, N°18, (2019), 6753-6757
- [6] Frolov S. N., Titenko E. A., Dobroserdov D. G. and Shchitov A. N.: "Small spacecraft of SWSU: experience of creation and application". The first all-Russian conference on space education "Road to space", (2019), 359-364.
- [7] Teterin D.P. and Batraeva I.A.: "Algorithm for planning the trajectory of an unmanned aerial vehicle during search and rescue operations". *Proceedings of the Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences*, Vol. 20, N° 6, (2018), 210-214.
- [8] Teterin, D.P., Atakishchev, O.I., Batraeva I.A. and Popov A.N.: "Matrix method of planning the trajectory of an unmanned aerial vehicle of variable mass". *Proceedings of the Institute of engineering physics*, N° 4, (2018).
- [9] Kovadlin M.S. and Teterin D.P.: "Pilotage complexes and navigation systems of helicopters". *Innovative mechanical engineering*, (2017), 368 Pp.



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

Volumen Especial, 2020, No. 1, pp. 03 - 55 _____

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada en Febrero de 2020, por el **Fondo Editorial Serbiluz, Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela***

www.luz.edu.ve
www.serbi.luz.edu.ve
www.produccioncientifica.luz.edu.ve