

Metodología para la prospección arqueológica mediante la aplicación de inducción electromagnética

Julian Andrés Blandon¹, Fernando Mesa², Jorge Abel Castañeda Salazar¹

¹Universidad de Caldas, Departamento de Física, Grupo de investigación TESLA Universidad de Caldas

²Departamento de Matemáticas, Universidad de Pereira, Pereira, Colombia

Jorge.castaneda_s@ucaldas.edu.co

Resumen— Las Técnicas de inducción electromagnética (EM) en arqueología, se fundamentan en la interpretación de las propiedades magnéticas (la susceptibilidad y la conductividad) de los materiales del suelo estudiados, que al estar expuestos a campos magnéticos inducidos emiten señales diferentes como respuesta, para lo cual se realizó un reticulado que permitió así recolectar una serie de datos procesados en MAGMAP y SURFER para su correspondiente interpretación.

Esta investigación diseña una metodología para la prospección arqueológica mediante el uso de un perfilador electromagnético; para esto se seleccionó un área con potencial de yacimiento arqueológico, se diseñaron y construyeron cuadrículas de 100m², con divisiones de cada 0,50m en los ejes X y Z, que sirvieron como guía para pasar el equipo y registrar los datos; posteriormente se tomaron los datos con cada una de las frecuencias y después, se pasó a la fase de exploración, para correlacionar los datos de anomalías electromagnéticas, con la presencia de material arqueológico. Se usó un método geofísico basado en el análisis de la conductividad electromagnética (EM) en el subsuelo, con un perfilador electromagnético EPM-400, el cual permite emitir ondas con frecuencias bajas que oscilan entre los (1,0-16) KHz, siendo frecuencias de 1,0 KHz las que permiten alcanzar los 2 metros de profundidad y la frecuencia del rango de 15,0 y 16,0KHz para zonas de escasos centímetros de profundidad en el subsuelo de exploración arqueológica.

Palabras clave— Conductividad, susceptibilidad, magnetismo, electromagnetismo.

Abstract— Techniques of electromagnetic induction (EM) in archaeology, are based on the interpretation of the magnetic properties (susceptibility and conductivity) of the studied soil materials, that being exposed to induced magnetic fields emit different signals in response, which was a cross-linked allowing thus collect a range of data processed in MAGMAP and SURFER to their corresponding interpretation.

This research intended a methodology for archaeological prospecting through the use of an electromagnetic Profiler; for carrying out this an area with potential for archaeological site was selected, 100 m² grid with divisions of each 0, 50 m in the axis X and Z, were designed and built, which served as a guide to passing equipment and record data; then the data were collected with each of the frequencies and then moved to the stage of exploration, to correlate data from electromagnetic anomalies,

with the presence of archaeological material. A geophysical method was used, based on the analysis of electromagnetic (EM) conductivity in the subsoil, with an electromagnetic Profiler EPM-400, which can emit waves with frequencies ranging between (1, 0-16) KHz, whose 1.0 KHz frequency allow to reach the 2 meters of depth and frequency of the range 15, 0 and 16, 0KHz for areas of few centimeters deep in the basement of archaeological exploration.

Key Word — susceptibility, conductivity, magnetism, electromagnetism.

I. INTRODUCCIÓN

Las Técnicas de inducción electromagnéticas (EM) en arqueología se empezaron a desarrollar en Europa en las décadas de los 60 y principios de los años 70 (Mullins 1970). Es interesante señalar que el primer equipo de inducción electromagnética no fue fabricado específicamente para aplicaciones arqueológicas, la instrumentación inicialmente se usó para el reconocimiento de obras en ingeniería (Moffat, 1974; Morey, 1974; Cook, 1974; Vickers y Delfín, 1975; Delfín et al., 1978; Ulriksen, 1982). Sin embargo, la experiencia demostró, que una serie de métodos que se basaban en el electromagnetismo eran útiles para la prospección arqueológica, es así como se desarrollaron las técnicas de sondeo por radar, que posteriormente se usaron en los Estados Unidos basados en los principios físicos para beneficio de la arqueología (Bevan, 1983). En México recientemente se ha implementado la aplicación de los métodos geofísicos en arqueología; los estudios se han enfocado en la localización de túneles ceremoniales y la pirámide de la Luna (Álzate et al. 1990) y en la pirámide del Sol (Chávez et al. 2001) Igualmente se han hecho estudios geofísicos en zonas cerradas, como es el caso del Templo Mayor de la Ciudad de México (Barba et al. 1997). Los efectos en el suelo, al analizar la viscosidad magnética en el dominio temporal, con la aplicación de los métodos electromagnéticos (TDEM) también fueron observados y relatados por Buselli (1982). En la arqueología las propiedades magnéticas de los materiales son las que definen, lo que puede encontrarse en el subsuelo, además existen

algunas actividades antrópicas que pueden generar cambios en las propiedades de estos, como por ejemplo el fuego, que influye de manera directa en la transformación de hematites a magnetita en las reacciones de óxido-reducción (Mossbauer, 2000). Los parámetros electromagnéticos (resistividad, conductividad eléctrica, y susceptibilidad magnética) son los que definen un medio al paso de una onda electromagnética; la resistividad eléctrica de un material describe la dificultad que encuentra la corriente a su paso por él (Ponce, Argote, Chávez, 2004). De igual manera se puede definir la conductividad como la facilidad que encuentra la corriente eléctrica para atravesar un material. Es decir, proporciona una medida de capacidad de un material para conducir corriente eléctrica. La investigación en prospección geofísica en arqueología, utiliza los principios de la inducción electromagnéticos (EM); la teoría de campos electromagnéticos, cuyas ecuaciones básicas fueron formuladas por Maxwell (1865), relacionando los campos eléctrico y magnético con sus fuentes. Estas relaciones se complementan con las denominadas ecuaciones de continuidad, que especifican el comportamiento de estos campos en las zonas que existen distribuciones superficiales de cargas, es decir, donde se tienen discontinuidades en un medio.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionó un área con potencial de yacimiento arqueológico en el municipio de Victoria (Caldas). Se diseñaron y construyeron cuadrículas de 100m² con divisiones de cada 0,50m en los ejes X y Z figura 1. que sirvieron como guía para pasar el equipo y registrar los datos, posteriormente se tomaron los datos con cada una de las frecuencias y después, se pasó a la fase de exploración, para correlacionar los datos de anomalías electromagnéticas, con la presencia de material arqueológico. Se usó un método geofísico basado en el análisis de la conductividad electromagnética (EM) en el subsuelo, con un perfilador electromagnético EPM-400 de la casa comercial GSSI, el cual permite emitir ondas con frecuencias bajas que oscilan entre los (1,0-16) kHz, para la exploración arqueológica. La preparación de la toma de datos se inició con el estudio de las condiciones físicas del terreno a saber: la microtopografía, la temperatura y la humedad. Posteriormente se realizaron las distribuciones del terreno con una retícula de 10 metros por 10 metros y se pasó a la toma de datos con los sondeos geofísicos, usando un perfilador electromagnético EPM 400 a diferentes frecuencias de oscilación figura 2. Se utilizaron frecuencias de 1,0 KHz para profundidades mayores hasta los 2 metros, y frecuencias de 14,0 KHz para zonas más próximas a la superficie en unidades centimétricas, permitiendo así la realización de un perfil estratigráfico de suelos, para correlacionar variables geofísicas, estratigráficas del suelo, y las características climáticas.



Figura 1. Diseño de reticulado y micro-topografía para la adquisición de datos.

Parámetros del Proyecto	
Frecuencias	15,14,13,12,11,10khz
Modo	Continuo
Intervalo	1 segundo
Orientación	VDM(I)
Tipo de Grilla	XLBZ y YLBZ
Coordenadas X	0 - 10m y0 - 20m
Coordenadas Y	0 - 10m y0 - 20m
Medida de Paso	0.50m
Espaciado de Línea	0.50 m

Figura 2. Parámetros definidos en la PDA para el barrido con el perfilador electromagnético.

Luego de realizar el barrido del área prospectada con el perfilador EMP-400, se procedió a transferir los datos previamente guardados en la PDA a un computador, la información se puede procesar los datos mediante uso de softwares MAGMAP o SURFER para procesar y obtener el mapa de resistividades, el procedimiento es el siguiente:

1. Se conectó a través de un cable de puerto USB la PDA a un computador.
2. Se activó la opción automática del sistema para transferencia de datos de la PDA a el computador.
3. Se seleccionó el proyecto a transferir y se inició la misma; la cuál en un inicio de creación en la PDA tenía un formato *.prj. para luego transferirlo a el formato *.EMI.
4. Transferido el proyecto al computador se cambió nuevamente el formato a ASCII el cual permite abrir una tabla de datos en Excel que permite ser abierta por el software MAGMAP.
5. Luego de que el documento se abrió en MAGMAP se cambió nuevamente el formato del archivo desde este software a *.dat.
6. Ya listo el documento en este último formato se procedió a seleccionar desde MAGMAP un mapa de

resistividades para identificar las anomalías presentes.

7. El formato *.dat es compatible también con el software MAGMAP de los cuáles se obtuvieron mapas de resistividades desde vista de planta (cabe destacar que este software es más versátil para la creación de mapas por sus ángulos de visualización).
8. Los datos se pueden transferir al software SURFER para el procesamiento e identificación de anomalías electromagnéticas en el subsuelo Figura 3.

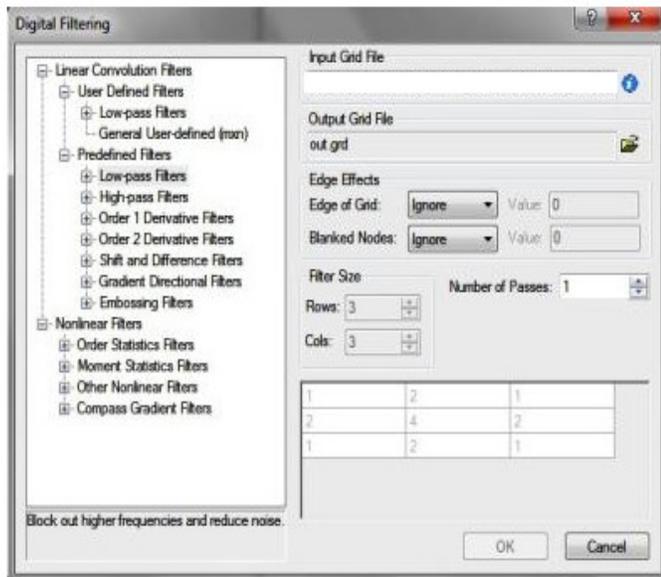


Figura 3. Procesamiento de Datos en SURFER para la identificación de anomalías electromagnéticas.

III. RESULTADOS

Una vez hecho el análisis respectivo del suelo y la malla de muestreo, se tomaron mediciones en las frecuencias que van desde 14.0 KHz hasta 1.0KHz, para garantizar un barrido que relacionara diferentes profundidades, obteniendo así alta resolución en los registros de 14.0 KHz a 12.0 KHz, debido a que corresponden a los datos más superficiales. Para la filtración de los datos obtenidos, se utilizaron el software MAGMAP 2000 y SURFER 8, los que permitieron reflejar las anomalías físicas de los materiales y sus variaciones en la zona prospectada. Cabe anotar que los filtros usados en este caso, facilitan la identificación de anomalías electromagnéticas, que relacionadas a las exploraciones arqueológicas definen los artefactos que indican la actividad antrópica en el lugar. Posteriormente se convirtieron los datos binarios a ASCII, mediante el uso del programa MAGMAP 2000, para un procesamiento inicial. Los datos fueron exportados a Surfer o Geosoft, para la construcción mapas y análisis más detallados. La aplicación de métodos numéricos es indispensable y tienen como finalidad transformar los datos para generar información de interés geofísico, que se relacionan a las estructuras arqueológicas, además permiten la

delimitación, tamaño y ubicación de las mismas. Los archivos de datos de inducción electromagnética (EM) están compuestos de columnas de valores expresadas en coordenadas en el eje X, Y, y valores Z, correspondientes a los puntos de muestreo y los componentes Infase (susceptibilidad magnética Ohm), cuadratura (conductividad eléctrica S/m), tomadas por el equipo. Este conjunto de datos dependiendo del número de frecuencias programadas puede arrojar aproximadamente unos 65.000 datos de lecturas sobre un determinado terreno para generar una imagen; reduciendo así la saturación del aglomerado de datos y atenuar aún más las anomalías en la imagen Figura 4. Luego de la identificación de los puntos anómalos, se ubicaron las áreas de sondeo, y posteriormente se realizó la excavación Figura 5. Para correlacionar los materiales encontrados en el subsuelo con los registros dados por el perfilador electromagnético.

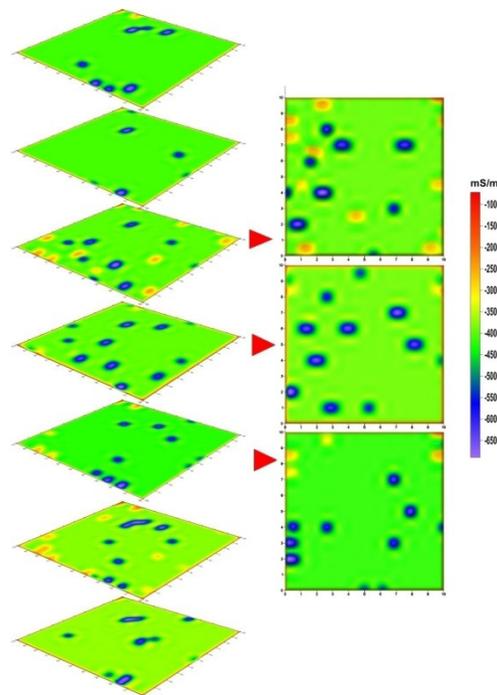


Figura 4. Mapa filtrado de Susceptibilidad Magnética aparente (INPHASE) en frecuencia de 16000 a 10000 KHz.

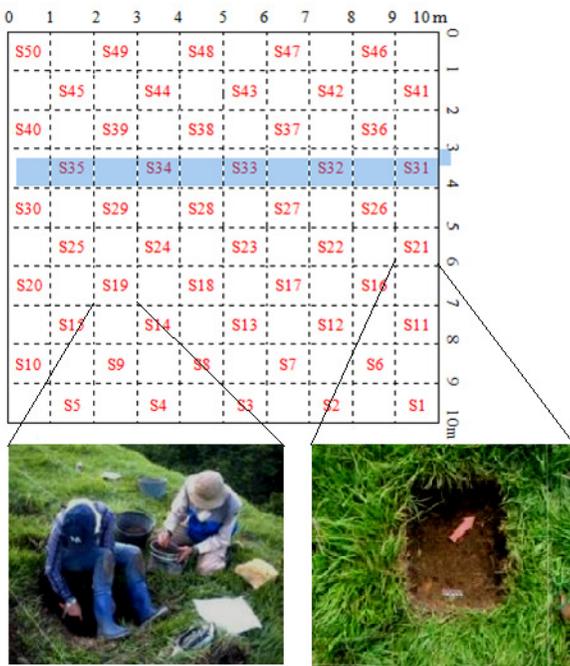


Figura 5. Excavación en los sitios que presentan anomalías electromagnéticas

IV. DISCUSION

El perfilador electromagnético EMP-400 es un instrumento de alta precisión respecto a instrumentos geofísicos, que brinda una versatilidad, ya que es ligero dispositivo permite obtener datos de resistividades de los materiales yacientes en el subsuelo mediante la sincronización de un perfilador y un procesador de datos denominado PDA, con la cual se hacen unas series de barridos sobre el reticulado previamente elaborado.

Con el fin de detectar anomalías gravimétricas, ha sido utilizado el método de microgravimetría, mediante el cual se obtuvo un mapa, en la iglesia de San Venceslas (Checoslovaquia), que permitió hallar una cripta que yacía bajo el interior de la iglesia (Blizkovski (1979)); usando el método que se basa en la atracción gravitacional que ejerce la masa de la tierra sobre todos los cuerpos de la superficie del mismo según ley de la gravitación universal Newton; este método a su vez permite hallar la densidad de los cuerpos indirectamente gracias a la obtención de la gravedad específica gracias a un gravímetro en las áreas de trabajo permitiendo encontrar y delimitar contrastes entre las mismas, si bien esta metodología es efectiva a pequeña escala ha mostrado ser más eficiente el uso del perfilador electromagnético.

Los métodos geoelectrónicos permiten el hallazgo de yacimientos arqueológicos mediante la realización de calicatas que consiste en detectar las resistividades de los suelos al aplicarle

una corriente eléctrica artificial generada por una batería y unos cables conductores a electrodos (generalmente de cobre) clavados en el suelo y dispuestos según la distancia del arreglo del área a prospectar, para una posterior interpretación de una tomografía eléctrica, delimitando sus anomalías; obteniendo estructuras en el subsuelo (Álvarez, Palomero y Menéndez (1995)). Sin embargo, para cada ensayo se deben cambiar de posición los electrodos, para poder llegar a diferentes profundidades, metodología que hace poco práctico este método, para el caso del perfilador electromagnético se programa la PDA y se toman registros del subsuelo que corresponden a diferentes profundidades.

V. CONCLUSIONES

La metodología propuesta para la prospección arqueológica mediante el uso del perfilador electromagnético EMP-400 mostro ser adecuada en los sitios donde existe evidencia de actividad antrópica prehispánica, pues las anomalías generadas por los diferentes artefactos que hay en el subsuelo son registrados por el equipo.

Los registros obtenidos en los sondeos electromagnéticos, que son almacenados en la PDA y que luego se pueden transferir a un computador, en el momento del procesamiento mostraron ser más apropiados para los filtrados y la generación de mapas en el software SURFER, pues son evidentes los contornos en las imágenes que muestran las diferentes anomalías desde el punto de vista eléctrico y magnético del subsuelo y los materiales que hay en él.

En el caso de la determinación de las profundidades a la cual se encuentran los diferentes artefactos de interés arqueológico todavía no está totalmente resuelto, ya que en algunos casos, las características físicas y químicas del suelo influyen de manera directa en el objeto que ha sido detectado por la inducción electromagnética para el caso del perfilador EMP-400, por este motivo se recomienda hacer estudios que permitan definir las profundidades de las anomalías electromagnéticas para incluirlas en la metodología de prospección.

Se propone el uso del perfilador electromagnético EMP-400 para la detección y hallazgo de yacimientos arqueológicos presentes en el subsuelo ya que este método permite priorizar tiempo y dinero, pues los métodos de gravimetría y geoelectrónica usados en la prospección arqueológica requieren de mayor cantidad de personal capacitado y de recursos económicos.

Se recomienda la adquisición de un White's 6.000 PRO XL ya que este equipo permite discriminar la forma y la profundidad con mayor resolución (Díaz, Medrano, 2003).

REFERENCIAS

- [1] Aitken, M.J. (1974). *Physics and archaeology*, 2nd edition. Oxford: Clarendon Press, 286 pp. Aitken, MJ, Webster, G., and Rees, A. (1958). Magnetic prospecting: *Antiquity* 32, 270-271.
- [2] Bevan, Bruce W. 1991 the Search for Graves. *Geophysics* 56(9):1310-1319.
- a. _____ 1998 *Geophysical Exploration for Archaeology: An Introduction to Geophysical Exploration*. Special Report No.1. Midwest Archeological Center. Lincoln, Nebraska.
- b. _____ 2000 *The Pole-Pole Resistivity Array Compared to the Twin Electrode Array*. Technical Report No. 6. Geosight, Weems, Virginia.
- [3] Blikovsky, M. C. (1979): "Processing and applications in microgravity surveys". *Geophysical Prospecting* 27:848-861.
- [4] Clark, A. (2000) *Seeing beneath the Soil: Prospecting Methods in Archaeology*. Reprint. Routledge, London. Originally published in 1996 by B. T. Batsford Ltd., London.
- [5] Dalan, R. A. (1995) *Geophysical Surveys for Archaeological Research: Electromagnetic Conductivity Surveys*. Ms. on file, Midwest Archeological Center, National Park Service, Lincoln, Nebraska.
- [6] Dalan, R. A., Subir, K. B. (1998) Solving Archaeological Problems Using Techniques of Soil Magnetism. *Geoarchaeology* 13(1):3-36.
- [7] David, A. (1995) *Geophysical Survey in Archaeological Field Evaluation*. Research & Professional Services Guidelines No. 1. English Heritage, Swindon, England.
- [8] Figueroa, C. D. (1987) *Tratado de Geofísica Aplicada*. Litoprint, España.
- [9] MAGMAP 2000 4.0, UserGuide. 2002. Pág. 119 a 132 y 187, 188,
- [10] Moya, J. P. (2010). *Procesamiento y Análisis de Imágenes Digitales*. Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela de Ingeniería Electrónica. 2010.
- [11] Pollard, A. M. (1999). *Geoarchaeology: Exploration, Environments, Resources*. Special Publication No. 165. The Geological Society, London.
- [12] Scollar, I., Tabbagh, A. & Herzog, I. (1990). *Archaeological Prospection and Remote Sensing*. Topics in Remote Sensing 2. Cambridge University Press, Cambridge, Great Britain.
- [13] Mazo, J. Zuluaga, et al. (2000). "A Mossbauer study of the thermal decomposition products of magnetite" (Presentado en IV ENFMC, Bucaramanga 2000).
- [14] Ponce, D. Argote, R. (2004). Empleo de los métodos geofísicos en la prospección arqueológica urbana: la basílica de nuestra señora de la salud, patzcuaro, México. *TRABAJOS DE PREHISTORIA* 61, n.o2, 2004, pp. 11 a 23.
- [15] López, Á., A. Palomero. P & Menéndez, R. (1995): Museo Sefardí(Toledo). Ministerio de Cultura. Madrid.
- [16] Díaz, M. A. Sanz, M. M. (2003) "PROSPECCIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN EL YACIMIENTO DE CONTREBIA BELAISCA (BOTORRITA, ZARAGOZA)". *SALDVIE* n.º 3 2003 pp. 339-342
- [17] MAXWELL, J. C., 1865. «A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field». *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 155: 459-512.