

La aplicación de la magnetometría sobre el yacimiento y el procesamiento de sus datos¹

Otro de los métodos aplicados a la Zona A de Torregarcía ha sido la magnetometría. Este es uno de los métodos geofísicos más indicados para la investigación histórico-arqueológica no invasiva, por su rapidez, economía y transporte. Se trata de un método pasivo (Piro 2009; Boschi 2009, 299) que se puede usar tanto en tierra como en el mar, cuya limitación más importante es la menor capacidad de resolución en profundidad. Dependiendo de la potencia de la fuente de interferencia magnética, pueden detectarse elementos hasta una profundidad de 2,5 a 3 m. m. Aunque el magnetismo puede medirse en 3D lo normal es hacerlo en 2D (Sala *et al.* 2016).

La magnetometría consiste en la detección de anomalías derivadas de las propiedades magnéticas de los suelos y los elementos. La amplitud de esas alteraciones depende del contraste o diferencia de susceptibilidad magnética del suelo con los elementos, del volumen de estos y de la distancia con los sensores. A diferencia del georradar, esta técnica no muestra información tomográfica en profundidad, de manera que la imagen o imágenes obtenidas constituyen una planta resumen de los datos del subsuelo hasta -1,5 m, aproximadamente, denominada magnetograma.

Cuando una estructura arqueológica enterrada se caracteriza por el contraste de la susceptibilidad magnética respecto a sus alrededores, mostrará magnetización inducida en la dirección del Campo Magnético Terrestre (Aspinall *et al.* 2009, 22; Piro 2009, 31, Fig. 1; Fassbinder 2015, 85).

La superficie suele ser más magnética que la roca, así las estructuras excavadas producirán una señal magnética positiva y el material de relleno se puede detectar por una señal negativa (Fedi *et al.* 2017, 204). A veces, las estructuras arqueológicas muestran un contraste magnético ‘dipolar’, esto es, que la misma estructura proporciona dipolos magnéticos, positivo y negativo (Aspinall *et al.* 2009, 69).

El contraste se acentúa con la concentración de minerales ferrosos o de material termo-remanente (Boschi 2009, 305). Los cambios muy leves en la química del suelo también pueden influenciar los resultados magnéticos, como cuando se crea el humus. Siempre que el humus ha sido perturbado o removido, se hace evidente en los datos magnéticos, como se ejemplifica en los surcos de labranza o en los senderos modernos (Welch 2001, 18). Estas variaciones de la magnitud física medida son las

anomalías (Boschi 2009, 298).

De los diversos tipos existentes de magnetómetros, empleamos en esta exploración el de paso de flujo, o *fluxgate*, que mide los componentes del CMT. Actualmente contamos con *arrays* de sensores arrastrados por vehículos que pueden cubrir varias hectáreas al día (Sala *et al.* 2016). El espaciado de los sensores dependerá del tamaño y de la profundidad en la que se encuentren las estructuras. En el trabajo de campo se evitará el ruido, esto es, cualquier perturbación que oscurezca o reduzca la densidad o cualidad de una señal (Aspinall *et al.* 2009, 77).

8.1. Aspectos técnicos del equipo de magnetometría utilizado

A continuación, se presentan las especificaciones técnicas del equipo geofísico utilizado durante la toma de datos en la campaña de Torregarcía realizada en la Zona A en el año 2021. El magnetómetro se utilizó junto con un sistema de posicionamiento global (GPS), que sirvió para el correcto georreferenciado de los productos finales. Estos productos se elaboraron a partir de la utilización de una serie de *software* bajo licencia.

Empleamos un equipo MX V3, un magnetómetro multicanal modulable de la casa Sensys (*fluxgate gradiometer* FGM650/3). Su diseño modular permite hacer mediciones con diversas configuraciones, siendo muy adaptable a las características del área a prospectar. El número mínimo de canales con los que trabaja el equipo es de 3 y el máximo de 16 gradiómetros. En su configuración completa el ancho de barrido en la exploración es de 3,75 m. El sistema está previsto para ser empleado manualmente por uno o varios operarios, o remolcado mediante vehículo motorizado (Fig. 8.1).

La frecuencia de muestreo (*sample rate*) es también modulable, permitiendo elegir entre distintos módulos de frecuencia, entre estos: 20, 100 y 200 Hz. A su vez, depende de la velocidad de recolección de los datos. Este ajuste influye directamente en el número de valores de medición o puntos tomados por metro. Normalmente, cuando el equipo va empujado por un operador se elige la configuración de 20 Hz y cuando es remolcado con un vehículo que puede alcanzar hasta los 100 km/h la configuración de 100 Hz.

La distancia aplicada en este caso entre los sensores o gradiómetros es de 25 cm. Los gradiómetros se conectan a una unidad central, MX Compact V3, donde se registran todos los datos de la exploración. El sistema es controlado por el operador a través de una tableta con el *software* de

¹ Este capítulo ha sido coordinado por José Antonio Ruiz Gil, Francisco Javier Catalán González y Lázaro G. Lagóstena Barrios.



Figura 8.1. Investigador operando el magnetómetro.

adquisición de datos. Además, el equipo se complementa tanto con odómetro como con GPS con corrección RTK para la georreferenciación de los datos tomados.

Para georreferenciar los resultados, como equipo de posicionamiento auxiliar al MX V3 se emplea un Sistema Global de Posicionamiento (GNSS) con correcciones en tiempo real RTK (*Real Time Kinematic*) realizadas desde la ERGNSS (Red Nacional de Geodesia). Para optimizar la toma de datos trabajamos con una configuración GPS *Base + Rover*. La Base RTK se conecta a la Red mediante radiomódem integrado y este transmite las correcciones que son recibidas por el Rover RTK mediante su módem interno. En condiciones óptimas, pueden llegar a comunicarse hasta 10 km de distancia y áreas urbanizadas entre 3 y 4 km. El equipo utilizado como Base es el Stonex modelo S10 y como Rover se utiliza un Stonex modelo S10A.

La toma de datos en campo se realizó con el *software* MONMX, licenciado por la Universidad de Cádiz y desarrollado por la empresa SENSYS Magnetometers & Survey Solutions. El *software* permite seleccionar distintas configuraciones de trabajo, número de canales o gradiómetros, así como el modo de movimiento del equipo, remolcado o empujado manualmente.

Para el procesado en laboratorio de los datos obtenidos por el MX V3 se utilizan dos *softwares*: DLMGPS y Magneto. El *software* DLMGPS permite unir los *tracks* o transectos con los datos GPS, de manera que se pueden seleccionar todos los *tracks* realizados o sólo los que interesen. Los datos son exportados como archivos DLM. Este *software* puede trabajar con archivos de gran tamaño, por lo que puede exportar información de varias hectáreas de exploración. Además permite proyectar los datos en distintos sistemas de coordenadas. El archivo DLM es importado en el *software* Magneto, una herramienta para la visualización y análisis de los resultados de la medición geomagnética. En su pantalla principal ofrece un mapa de resultados codificado por colores con cuadrícula de coordenadas y escala de valores. Todos los parámetros pueden ser modificados para optimizar la visualización. Los elementos de análisis se administran por capas, facilitando el orden en la configuración de los datos representados. Permite la exportación de los datos en distintos formatos como ASCII o Geotiff.

8.2. Metodología de trabajo en campo y laboratorio

La superficie de exploración ofreció buenas condiciones para el trabajo, por tratarse de un área plana, con poco o ningún desnivel. Algunos inconvenientes derivan de la presencia de vegetación arbustiva protegida en el Parque