



ARQUEOLÓGICA 2.0

CONGRESO INTERNACIONAL DE ARQUEOLOGÍA E INFORMÁTICA GRÁFICA, PATRIMONIO CULTURAL E INNOVATION
INTERNATIONAL CONGRESS ON ARCHAEOLOGY, COMPUTER GRAPHICS, CULTURAL HERITAGE AND INNOVATION

Proceedings of the 8th
International Congress
on Archaeology,
Computer Graphics,
Cultural Heritage and
Innovation
'ARQUEOLÓGICA 2.0'
in Valencia (Spain),
Sept. 5 – 7, 2016

GEORRADAR Y TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE UN YACIMIENTO ARQUEOLÓGICO MEDIEVAL (CONJUNTO ARQUEOLÓGICO CASTILLO DE LA ESTRELLA, MONTIEL)

GPR AND ERT FOR THE CHARACTERIZATION OF A MEDIEVAL ARCHAEOLOGICAL SITE (CASTLE OF LA ESTRELLA, MONTIEL)

José Luis Sánchez^{a,d}, David Gallego^b, Jesús Molero^{a,d}, Jesús Sánchez^{c,d}, Óscar Merlo^{c,d}

^a Facultad de Letras de Ciudad Real, Universidad de Castilla-La Mancha, Avenida Camilo José Cela s/n, 13071, Ciudad Real, España. ibericaarqueologia@gmail.com; jesus.molero@uclm.es

^b Fundación Castillo de la Estrella, Calle de la Diputación 8, 13326, Montiel, España. davidgallegoalle@gmail.com

^c Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Ciudad Real, Universidad de Castilla-La Mancha, Avenida Camilo José Cela s/n, 13071, Ciudad Real, España. jesus.svzcaiino@uclm.es; oscar.merlo@uclm.es

^d Laboratorio de Arqueología, Patrimonio y Tecnologías emergentes (LAPTE), Universidad de Castilla-La Mancha, Avenida Camilo José Cela s/n, 13071, Ciudad Real, España.

Abstract:

This paper presents the results of recent geophysical prospection in Castle of La Estrella (Montiel, Spain). This is one of the most important archaeological medieval sites located in Castilla-La Mancha. The fortress was built between 10th and 11th centuries like an Islamic *hisn*. Later it becomes into an encomienda of Order of Santiago in 13th century. The western area of the fortress was explored in order to investigate the identification of buried structures associated to the Homage Tower, and the existence of the historical access called "Puerta del Patio". The methods used were electric resistivity tomography (ERT) 2D-3D and electromagnetic prospection (ground penetrating radar-GPR). An archaeological excavation was subsequently carried out in this area to verify the validity of the geophysical exploration results.

Key words: applied geophysics, ground penetrating radar, electric tomography, 3D resistivity imaging, Montiel.

Resumen:

Este trabajo presenta los resultados de la reciente prospección geofísica realizada en el Castillo de la Estrella (Montiel, España). En la actualidad, este es uno de los yacimientos arqueológicos medievales más importantes localizados en Castilla-La Mancha. La fortaleza se construyó entre los siglos X y XI como *hisn* islámico organizador de los territorios aledaños. Posteriormente se convirtió en encomienda de la Orden de Santiago en el siglo XIII. La investigación en la zona oeste de la fortaleza se realizó con el objetivo de identificar posibles estructuras enterradas asociadas a la Torre del Homenaje, así como a la localización del acceso histórico denominado "Puerta del Patio". Los métodos empleados fueron la tomografía eléctrica en 2D y 3D, y la exploración electromagnética mediante georradar. Sobre la base de esta investigación inicial, se llevó a cabo en esta zona una excavación arqueológica destinada a verificar la validez de los resultados obtenidos a partir de los trabajos geofísicos desarrollados.

Palabras clave: geofísica aplicada, georradar, tomografía eléctrica, imágenes de resistividad 3D, Montiel.

1. Introducción

El Conjunto Arqueológico Castillo de La Estrella de Montiel (Ciudad Real) (Fig. 1), es un yacimiento con una andadura muy joven aún. Las actuaciones arqueológicas comenzaron en el año 2012, dentro del marco de colaboración de la UCLM, el Ayuntamiento de Montiel, y la incorporación posterior de la Fundación Castillo de La Estrella, que actualmente gestiona el

conjunto. El proyecto forma parte del programa de ayudas a la investigación arqueológica de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, con el se han desarrollado numerosas intervenciones.

Desde el punto de vista arqueológico, se trata de un asentamiento con una ocupación prehistórica, especialmente durante la Edad del Bronce, y un contexto medieval muy amplio con una fortificación con fases constructivas entre los siglos IX al XV. En la

* Corresponding Author: José Luis Sánchez Sánchez, ibericaarqueologia@gmail.com

ladera sur, dentro del Sector I del yacimiento, se ha localizado una intensa ocupación entre la que destaca el hallazgo de la iglesia de Nuestra Señora de la Estrella (ss. XIII-XV), así como parte de una zona de edificios islámicos (ss. IX-XIII) y el primitivo camino de acceso al castillo (ss. XIII-XVI) (Molero y Gallego 2013).



Figura 1: Localización del Conjunto Arqueológico Castillo de La Estrella de Montiel.

El plan de intervenciones en el yacimiento ha tenido, desde el primer momento, una apuesta decidida como marco de experimentación de las nuevas tecnologías aplicadas al patrimonio. Por ello, desde el 2012 aplica la fotogrametría terrestre y por medio de drone, como apoyo a la excavación y los trabajos de conservación de las estructuras (Ruiz *et al.* 2015). Por otro lado, con el fin de programar eficientemente las actuaciones, se ha realizado un amplio plan de estudios geofísicos en los diversos sectores del yacimiento.

Con el fin de colaborar en la mejora del conocimiento subsuperficial del conjunto arqueológico, se seleccionó para la realización de los trabajos de prospección geofísica y arqueológica el lado oeste del castillo propiamente dicho, que se corresponde con el recinto interior construido por la Orden de Santiago. Se ubica en la cota más elevada del cerro y se adapta a la geomorfología del terreno. En este sitio donde se sitúa la torre del Homenaje, se pretende en primer lugar, conocer las dimensiones exactas de la misma, así como el grosor y potencia de su muro de cierre este, colapsado y soterrado. En segundo lugar, documentar la existencia de la puerta del patio, que funcionaría según las fuentes archivísticas como un acceso principal a este recinto fortificado. Y, en tercer lugar, la documentación de otras posibles estructuras constructivas anexas, pertenecientes al entramado urbano militar de esta zona del yacimiento.

2. Métodos y equipos

En la presente investigación se han aplicado los métodos eléctrico y electromagnético, mediante el uso de la tomografía eléctrica y del georradar-GPR (Ground Penetrating Radar). Para la elección de estos métodos se ha tenido en cuenta las dimensiones y topografía de la zona, y los posibles contrastes de valor que puede presentar el parámetro físico a medir a un tiempo entre los materiales del yacimiento y en el sustrato geológico que los alberga (Sánchez *et al.* 2015).

El equipo de tomografía empleado fue el SuperSting R8 PI, resistivímetro multi-canal del subsuelo con almacenamiento en memoria de lecturas de los ciclos de medida definidos. En cuanto al software de inversión utilizado, AGI Earthmager 2D y 3D es el software estándar para imágenes de resistividad de Advanced Geosciences.

En nuestra campaña de trabajo con georradar, se utilizó el equipo NOGGIN 250 y SpiView, que es software estándar suministrado con el equipo.

3. Metodología

En la zona de exploración de la torre del homenaje, el estudio con georradar consistió en la ejecución de catorce perfiles, todos separados entre sí 1m. Se situaron en función de la topografía del terreno. Seis perfiles de 7 m en la parte superior, en un área amesetada delimitada por la proyección de los muros pertenecientes a la torre del homenaje, con más de 2 m de grosor, observables en superficie. Medidos según la orientación NO-SE (dirección A). Otros ocho perfiles de 12 m (P6 a P9) y 15 m (P10 a P12), medidos según la orientación NE-SO (dirección B), ejecutados en paralelo a la zona con pendiente, originada por el colapso de la torre. La longitud total de estos perfiles es de 157 m y abarcan una superficie de 93 m².

La investigación mediante tomografía eléctrica en esta zona ha consistido en la ejecución de un total de cuatro perfiles paralelos entre sí, de dirección SO-NE, de 28 electrodos cada uno, con espaciado inter-electródico de 1 m y separados entre sí 1,5 m (Fig. 2). Conforman un rectángulo regular de toma de medidas de 27 x 4,5 m. Y un bloque 3D con 56 electrodos (con punto inicial en el electrodo 15 del perfil de tomografía MO10). Estos perfiles se midieron con las configuraciones dipolo-dipolo 3D, radial gradient 3D, dipolo-dipolo, Wenner-Schlumberger y strong gradient. A partir de estas medidas se han realizado las correspondientes secciones de resistividad 2D.



Figura 2: Vista general de la zona oeste del castillo. Electrodo dispuestos sobre el terreno para medición 3D.

Adicionalmente, los perfiles realizados en las zonas de exploración torre del homenaje, han sido indexados para obtener un modelo virtual 3D de cada uno de ellos (Fig. 3).

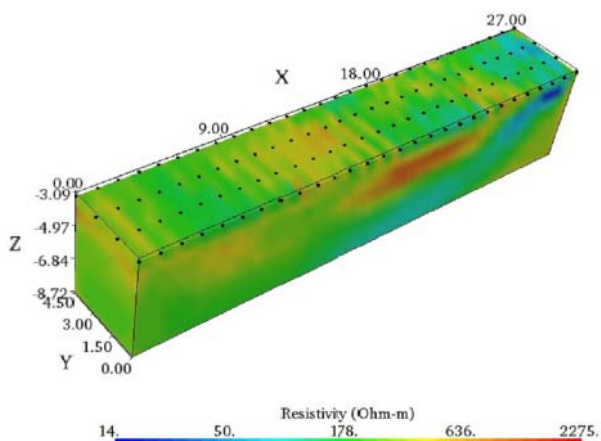


Figura 3: Bloque 3D generado a partir de los cuatro perfiles ejecutados en la zona Torre del Homenaje. Las anomalías constructivas se destacan en color amarillento y rojizo.

4. Resultados preliminares y conclusiones

La exploración geofísica ha permitido determinar los sectores en los que se registran una cantidad importante de elementos anómalos. Con estos datos se pretende caracterizar la disposición espacial y naturaleza física de las anomalías documentadas en la prospección geofísica, y su contraste a partir de excavaciones arqueológicas sistemáticas.

4.1. GPR

Los registros obtenidos en esta zona con georradar son muy complejos, los potentes restos constructivos colapsados de la torre, conformados por grandes mampuestos y sillares de arenisca, provocan que la onda transmitida por la antena de 250 MHz sufra multitud de refracciones, obteniéndose unos radargramas donde las anomalías que generan las principales estructuras quedan atenuadas. Se caracterizan por una continuidad horizontal o con una leve inclinación en la secuencia de reflexión de los radargramas (Fig. 4). Se corresponden con materiales procedentes del desplome de los muros de la torre del homenaje, de la muralla de la fortaleza y del muro del

patio, por lo tanto, con una composición física idéntica a la de estas estructuras. Tienen unas dimensiones longitudinales de entre 7 y 15 m, según el perfil de exploración, y ocupan la totalidad del espacio analizado. En este sentido señalar que las principales anomalías hiperbólicas, se relacionan con gruesos muros enterrados o cubiertos prácticamente en su totalidad por los derrumbes antes descritos.

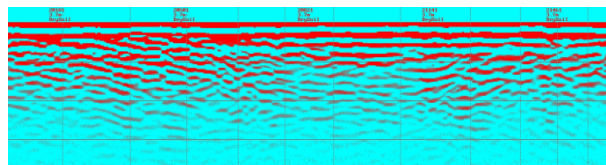


Figura 4: Perfil de georradar adquirido con antena de 250 MHz. Las numerosas reflexiones de onda confirman los derrumbes masivos de material constructivo.

4.2. Tomografía eléctrica

Los perfiles 2D y los bloques 3D de tomografía han permitido obtener una visión del subsuelo del yacimiento en esta zona con bastante precisión horizontal (Fig. 5). Se han caracterizado correctamente las distintas tipologías basadas en el binomio estructuras arquitectónicas-colapsos murarios. Se ha observado que cuando existe un derrumbe muy potente tanto en altura como en espesor, compuesto por grandes sillares de arenisca y morteros de cal disgregado, como el documentado mediante excavación en la zona del patio, los muros cubiertos por esta unidad pierden nitidez lateral en el perfil, aumentando considerablemente su tamaño como anomalía resistiva en comparación con el muro arqueológico real. Por el contrario, la posición subvertical de las estructuras arquitectónicas y de los paquetes de relleno constructivo se corresponde exactamente con el metro indicado en cada sección eléctrica.

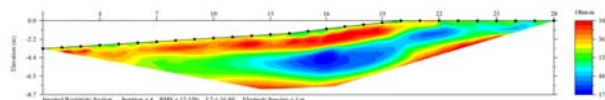


Figura 5: Perfil de tomografía eléctrica en el área de estudio. La escala de colores representa los valores de resistividad de los materiales ($\Omega.m$).

Referencias

- MOLERO, J. y GALLEGO, D., 2013, El primer encastillamiento cristiano del Campo de Montiel, In: A. PRETEL MARÍN, coord., *Alcaraz del Islam al concejo castellano*. Alcaraz, pp. 113-142.
- RUIZ, J.A, GALLEGO, D., PEÑA, C., MOLERO, J. y GÓMEZ, A., 2015. Fotogrametría aérea por dron en yacimientos con grandes estructuras. Propuesta metodológica y aplicación práctica en los castillos medievales del Campo de Montiel, *Virtual Archaeology Review*, 6 (13), pp. 5-19. DOI: 10.4995/var.2015.4366
- SÁNCHEZ, J.L., SÁNCHEZ, J. y MERLO, O., 2015. Exploración geofísica del Conjunto Patrimonial de Las Virtudes, In: V. M. LÓPEZ-MENCHERO, coord., *El enigma de Las Virtudes. Estudio histórico-arqueológico del Santuario de Las Virtudes (Santa Cruz de Mudela)*. Ciudad Real, pp. 115-155.