

PROSPECCIÓN GEOFÍSICA GPR PARA LA LOCALIZACIÓN DEL TRAZADO DEL ACUEDUCTO ROMANO DE GADES ASOCIADA AL PROYECTO DE LOS PARQUES FOTOVOLTÁICOS LOKI Y HERMOD EN ISLETES BAJOS, JEREZ DE LA FRONTERA, CÁDIZ.

Lázaro Lagóstena Barrios, Jenny Pérez Marrero, José Antonio Ruiz Gil, Pedro Trapero Fernández, Javier Catalán González, Manuel Ruiz Barroso, Isabel Rondán Sevilla, Isabel Granados Chiguer, y Domingo Martín Mochales.

1. INTRODUCCIÓN.

Resumimos los resultados de los trabajos obtenidos mediante prospección geofísica y técnicas GPR en una serie de parcelas rústicas privadas para la construcción de dos parques Fotovoltaicos. Ofrecemos información técnica de los equipos empleados (georadar, hardware y software), los parámetros de configuración usados en las exploraciones, la metodología de campo, la información de georreferencia y caracterización superficial de las áreas exploradas, y los resultados de la exploración con indicación de las alteraciones geofísicas más significativas.

La sociedad promotora fotovoltaica solicitó el día 22 de octubre 2019 a la Unidad de Geodetección y Georreferenciación de la Universidad de Cádiz la realización de estudio geofísico con técnica de prospección no invasiva GPR 3D, en parcelas privadas de la zona de Los Isletes Bajos (Término Municipal de Jerez de la Frontera) para la posible construcción de dos parques fotovoltaicos, denominados Loki y Hermod. Esta solicitud fue cursada a través de la plataforma de Servicios Periféricos del IVAGRO (<https://cauvivagro.uca.es/cau/grupoServicios.do?id=p03>). El objetivo de la exploración solicitada es la localización del trazado subterráneo del acueducto romano de *Gades* a su paso por el área de actuación, con objeto de tomar las medidas preventivas necesarias para su conservación y compatibilidad con el proyecto industrial.

La Universidad de Cádiz cuenta con un Servicio Periférico de exploración geofísica a disposición de la comunidad universitaria y de las administraciones públicas y entidades particulares que, al amparo de las condiciones y los criterios aprobados por su Consejo Social, soliciten sus servicios (BOUCA 223 de enero de 2017). Se trata de la Unidad de Geo-detección y Geo-referenciación del Patrimonio Agroalimentario, adscrita al IVAGRO con sede en el campus de La Asunción, en Jerez de la Frontera.

Se solicitó la autorización pertinente para la realización de la actividad de prospección geofísica, emitida por la autoridad competente en materia de patrimonio (Consejería de Cultura y Patrimonio Histórico, Junta de Andalucía), a favor de José Antonio Ruiz Gil, como director de la actividad, siendo aprobada el día 21 de noviembre de 2019.

La Unidad de Geo-detección y Geo-referenciación del Patrimonio de la UCA, fue creada en 2016 gracias a la obtención de un proyecto ministerial de Infraestructura. La unidad se integra en el IVAGRO, Instituto de Investigación Agroalimentaria, y su destino principal es

la investigación geofísica del Patrimonio Histórico-Arqueológico relacionado con el ámbito rural y la explotación del territorio. Sin embargo, la Unidad también da servicios para otros fines investigadores, como pueden ser, por ejemplo, los geomorfológicos, los relacionados con la detección de elementos de infraestructuras de ingeniería civil o los relacionados con la criminalística forense mediante la detección de enterramientos antrópicos de diversas épocas.

Con motivo del proyecto de construcción de los parques fotovoltaicos Loki y Hermod en el Término Municipal de Jerez de la Frontera, la Consejería de Cultura y Patrimonio Histórico acuerda la ejecución de varias actividades arqueológicas de estudio y documentación en cuanto posibles afecciones al patrimonio arqueológico. Entre estas actividades se encuentra un Informe de prospección arqueológica superficial y un estudio de prospección geofísica GPR de subsuelo de la parcela.

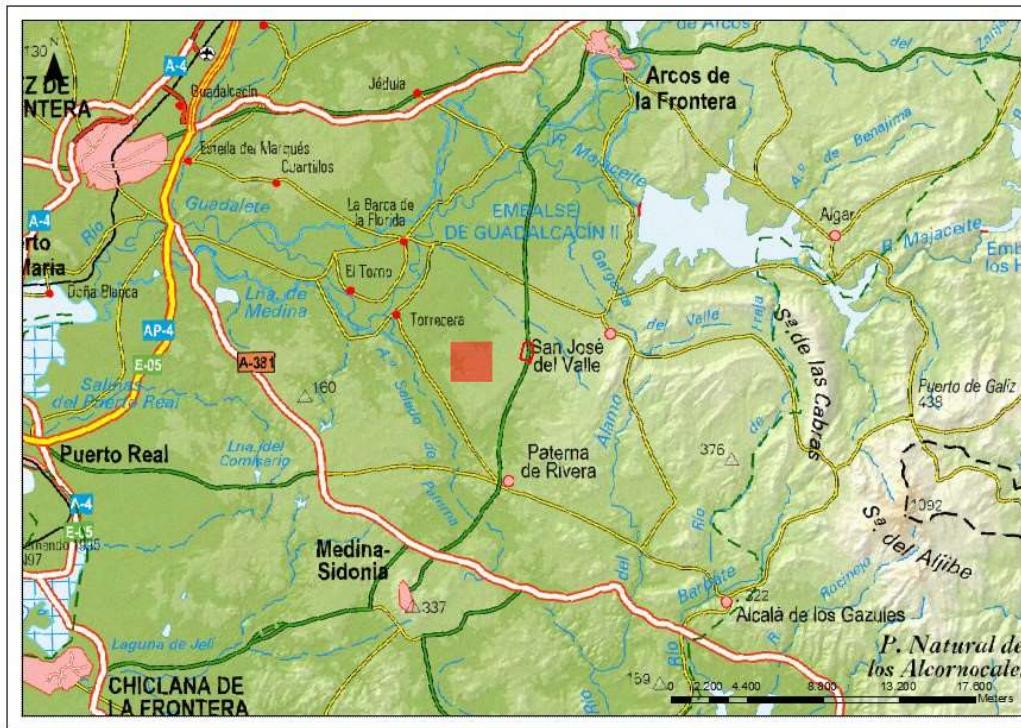


Fig. 1. Localización de las parcelas de Los Isletes Bajos, Parques Fotovoltaicos LOKI y HERMOD.

Las tareas de prospección superficial fueron contratadas y realizadas por AVR Arqueología Servicio Integral, cuyos resultados se plasman en el *Informe preliminar de actividad arqueológica de estudio y documentación gráfica según decreto 379/2009 en relación a futuro parque fotovoltaico 27,7 MW LOKI (Los Isletes Bajos) y línea eléctrica subterránea de evacuación. T.M. Jerez de la Frontera (Cádiz)*. Desde dicho informe, la administración competente en materia de patrimonio dispone de una serie de medidas cautelares de protección que planteaban la prospección geofísica (Ref: DPPH/ATP, Exp: A-316/19 (1274), p. 3).

La hipótesis de paso del acueducto romano por las parcelas de Los Isletes Bajos es una situación documentada por trabajos previos al informe antes citado, específicamente por el trabajo de tesis doctoral de Jenny Pérez Marrero de 2013 “El trazado del acueducto romano de Cádiz” y posteriormente confirmado por el proyecto AQVA DVCTA (Lázaro Lagóstena Barrios 2014).

Por tal motivo y atendiendo a la medida solicitada por la Consejería de Cultura y Patrimonio Histórico de Cádiz, la empresa solicitó a la Unidad de Geodetección de la UCA la planificación y ejecución de la campaña de prospección geofísica GPR en las parcelas Loki y Hermod, con el objetivo de geolocalizar posibles restos del acueducto romano de Cádiz en el subsuelo, así como ajustar la hipótesis de trazado previa existente, conforme a los nuevos datos geofísicos obtenidos.

2. METODOLOGÍA.

El georadar o radar de suelo, conocido como GPR (Ground Penetration Radar), es una técnica geofísica empleada en prospecciones no destructivas basada en la emisión y detección de ondas electromagnéticas que se propagan en el subsuelo. El pulso de energía electromagnética emitido desde la antena se transmite en el subsuelo interactuando con materiales que tienen diferentes propiedades electromagnéticas (conductividad, constante dieléctrica, permeabilidad magnética). Esta interacción hace que parte de la energía emitida sea reflectada, transmitida, refractada y/o absorbida permitiendo la detección de irregularidades con respecto al medio circundante.

Los pulsos electromagnéticos se emiten a una determinada frecuencia central que determina la profundidad máxima de exploración y la resolución de los resultados. En aplicaciones arqueológicas el rango medio de frecuencias empleadas está entre 100–800 MHz. Otro aspecto a tener en cuenta es el tipo de suelo y sus condiciones en un determinado momento, ya que influyen en la velocidad de propagación de la onda electromagnética y en la atenuación de la energía en una determinada exploración. Estos factores pueden interferir en los resultados, por lo que es necesario un adecuado posproceso de los datos brutos.

El equipo georadar empleado en Loki y en Hermod es multicanal, Stream X, de frecuencia central de 200 MHz. Las antenas contienen los emisores y receptores de las ondas electromagnéticas y están conectados a la unidad de control central (DAD) donde se almacenan los datos. Los datos brutos registrados de la exploración son procesados posteriormente con el objeto de mejorar las imágenes de los radargramas, generar tomografías 3D y plantas (slices) con una calidad aceptable para su interpretación y evaluación.

Una parte del proceso de datos crudos consiste en la aplicación de filtros que permite, entre otras cosas, realizar las correcciones estáticas, eliminar las bajas frecuencias producto de la proximidad de la antena trasmisora y receptora, mitigar el efecto de la rápida atenuación de la señal cuando se propaga en el subsuelo, eliminar o reducir las

frecuencias que representan el ruido en la señal producto de diferentes interferencias provenientes del exterior, etc. En procesos más avanzados pueden ser empleados filtros o realizar análisis adicionales que permitan mejorar aún más la calidad de la sección como, por ejemplo: análisis de las velocidades de propagación de la onda en función del tipo de suelo, aplicación de filtros espaciales, análisis de ‘deconvolución’ (un tipo de filtro), análisis tipo migración, aplicación de la transformada de Hilbert, por citar algunos.

Por último, hay que destacar que el avance que ha experimentado la técnica GPR en las últimas décadas ha permitido el desarrollo de equipos de altas prestaciones que permiten explorar grandes áreas de forma rápida y con una alta densidad de datos. El uso conjunto del GPR con equipos de medición topográfica de precisión centimétrica permite además obtener resultados georreferenciados.

El diseño de la campaña de exploración geofísica GPR para este trabajo se ha realizado en base a dos conjuntos de informaciones: primero, la información previa existente sobre el trazado del acueducto romano de Cádiz junto a los restos arqueológicos confirmados del acueducto en las parcelas; y segundo, la adecuación del trabajo con el equipo STREAM X al tipo de terreno agrícola, con diferentes pendientes y con situaciones del terreno arado que determinan el proceder *in situ*. En forma general se sigue el siguiente proceso metodológico:

- ✓ Diseño previo de la campaña de prospección geofísica en laboratorio a partir de la información existente, en QGIS, y planteamiento de transectos.
- ✓ Creación de proyecto GIS y exportación para su trabajo en campo, *shape* de geolocalización de transectos para el programa de captura de datos GPR.
- ✓ Documentación fotográfica de las áreas exploradas.
- ✓ Exploración georreferenciada con equipo motorizado Stream X.
- ✓ Posproceso de los datos de exploración mediante el software GRED HD.
- ✓ Geolocalización e interpretación de las alteraciones geofísicas más relevantes detectadas posiblemente asociadas al trazado del acueducto romano.
- ✓ Ajuste de la hipótesis de trazado en las parcelas Loki y Hermod atendiendo a los resultados de la exploración GPR, a las curvas de nivel del terreno, a diferentes ortofotos históricas y a los restos arqueológicos existentes.
- ✓ Generación de un buffer de 10 m a cada lado de la posible línea de trazado que sirva para definir el área de protección de la obra pública romana.



Fig. 4. Transectos preliminares diseñados en laboratorio a prospectar con georadar dentro del área de las plantas solares Loki y Hermod a partir del posible trazado del acueducto

Es importante resaltar que el diseño de los transectos en laboratorio se ha realizado de forma perpendicular al posible trazado conocido del acueducto (hipótesis previa), ya que es la forma adecuada de localizar la señal característica de este tipo de estructuras con una sección transversal abovedada. Con este diseño se cubre con prospección GPR el ámbito de posible recorrido de la obra pública que, a su vez, está condicionado por su recorrido a una determinada altura sobre el nivel del mar que, para el caso de la parcela LOKI se encuentra entre los 104 m.s.n.m. y los 101 m.s.n.m. (cota determinada por los restos arqueológicos confirmados existentes en la parcela).

La planificación preliminar ha sido posteriormente adecuada a las condiciones del terreno y a las necesidades que el propio proceso de trabajo a demandado, estableciendo nuevos transectos y ampliando longitudinalmente o transversalmente los recorridos inicialmente previstos.

2.1 EQUIPAMIENTO Y SOFTWARE.

El Stream X es un georadar multicanal constituido 15 antenas con frecuencia central de 200 MHz separadas cada 12 cm. Las antenas conforman un equipo de 2 m de ancho que definen el ancho de la banda de exploración. El conjunto cuenta con un sistema de elevación, lo que le permite adaptar la altura de la antena con respecto al terreno según el tipo de terreno prospectado. El conjunto es remolcado por un vehículo y permite investigar grandes áreas a una velocidad de prospección máxima de 15 kilómetros por hora. Las antenas se conectan a una unidad central donde se registran todos los datos de la exploración. Desde la unidad central el sistema se conecta al sistema topográfico de precisión centimétrica y al ordenador portátil con el software para la captura de datos.

Los trabajos de prospección con el Stream X se han realizado con una profundidad de exploración de 80 ns, con 512 muestras por barrido (@512 Sample/Scan), velocidad de propagación promedio de 10 cm/ns y con un sistema de posicionamiento GPS + PPS. Los ficheros de posicionamiento son exportados desde el receptor GPS a la unidad de control en formato NMEA tomados cada 0,2 seg (5 Hz).

Como equipo de posicionamiento auxiliar al Stream X se emplea un Sistema Global de Posicionamiento cuyo acrónimo es GNSS, haciendo uso del sistema espacial GPS con un receptor a nivel de usuario de la casa Leica modelo GS14 con controladora de campo de la misma casa comercial modelo CS15 con correcciones en tiempo real RTK (Real Time Kinematic) realizadas desde la ERGNSS (Red Geodésica Nacional de Estaciones de Referencia GNSS). El rendimiento de medición y precisión para tiempo real cinemático (red RTK) está estimado en Hz 8 mm + 0,5 ppm/V 15 mm + 0,5 ppm que alcanzan estos equipos cuenta con un error máximo de 0,04 metros. El sistema de coordenadas, así como el geoide utilizado, están acordes a la legislación vigente en España, siendo el ETRS89 establecido en el Real Decreto 1071/2007. Las coordenadas elipsódicas (latitud, longitud y altura) se han transformado a coordenadas planas UTM referidas al huso 29 o

30 según corresponda.

Para la toma de datos utilizamos el software ONE VISION, versión 2.0.0 licenciado por la Universidad de Cádiz. Este software, desarrollado por la empresa italiana IDS (Ingegneria Dei Sistemi), está orientado a la detección radar y al mapeado del subsuelo. Para su utilización, IDS proporciona un ordenador portátil modelo Panasonic CF-31 como el de la imagen anexa.

El posproceso de los datos tomados en las exploraciones se realiza con el programa GRED HD, versión 01.06, software licenciado por la Universidad de Cádiz. Este programa ha sido desarrollado por la empresa italiana IDS, diseñado para la visualización y tratamiento de datos brutos del radar adquiridos por el programa *One Vision*. El software GRED HD permite realizar diferentes tipos de posprocesos de los datos radar en 2 y 3 dimensiones, utilizando todo el potencial de diferentes filtros de tratamiento y algoritmos de procesado en 3D. Uno de los principales productos que genera el GRED HD son los radargramas longitudinales y transversales, así como las tomografías y vistas 3D del área explorada que, dependiendo de las características del subsuelo y del área prospectada, se seleccionan el paquete de filtros y procesos adecuados en cada caso.

La metodología de Sistemas de Información Geográfica es esencial para la gestión de proyectos de contenidos cartográficos georreferenciados como son las exploraciones geofísicas de última generación. Nuestra unidad emplea para este proyecto el software comercial ARCGIS y QGIS, programa de código libre multiplataforma. QGIS permite manejar formatos ráster y modelos vectoriales a través de las bibliotecas GDAL y OGR, así como bases de datos. Con el informe presentado se entregan las correspondientes capas de archivos *shape* en formato ESRI que permite localizar con precisión espacial las parcelas exploradas.

3. RESULTADOS

Se han analizado de forma detallada los proyectos de prospección geofísica GPR en las parcelas Loki y Hermod, determinándose una serie de zonas en cuyo subsuelo es posible existan restos arqueológicos asociados al acueducto romano.

Denominación de Áreas Prospectadas en Loki	Denominación del RAW	Fecha de exploración
Proyecto 1	Acueducto_H_2019.11.31_001	31/11/2019
Proyecto 2	Acueducto_H_2019.11.31_002	31/11/2019
Proyecto 3	Acueducto_H_2019.11.31_003	31/11/2019
Proyecto 4	Acueducto_H_2019.11.31_004	31/11/2019
Proyecto 5	Acueducto_H_2019.11.31_005	31/11/2019
Proyecto 6	Acueducto_H_2019.11.31_006	31/11/2019
Proyecto 7	Acueducto_H_2019.11.31_007	31/11/2019

Proyecto 8	Acueducto_H_2019.11.31_008	31/11/2019
Proyecto 9	Acueducto_H_2019.11.31_009	31/11/2019
Proyecto 10	Acueducto_H_2019.11.31_010	31/11/2019
Proyecto 11	Acueducto_H_2019.11.31_011	31/11/2019
Proyecto 12	Acueducto_H_2019.11.31_012	31/11/2019
Proyecto 13	Acueducto_H_2019.11.31_013	31/11/2019

Existen otro conjunto de señales detectadas con el GPR que se han localizado en los puntos señalados en color amarillo en la figura 5 que deben tenerse en cuenta a la hora de diseñar la planta fotovoltaica como posibles sitios con restos arqueológicos o sitios de acumulación de material en el subsuelo. Se analizó además la topografía, la tendencia de las curvas del nivel del terreno y las señales a nivel de superficie desde la serie de ortofotos históricas. Todo ello ha permitido el ajuste de la hipótesis del trazado y la definición de un área de protección arqueológica en su entorno.

Áreas Prospectadas	Denominación del RAW	Fecha de exploración
Proyecto 1	Acueducto_H_2019.11.28_001 Parte1	28/11/2019
Proyecto 2	Acueducto_H_2019.11.28_001 Parte2	28/11/2019
Proyecto 3	Acueducto_H_2019.11.28_001 Parte3	28/11/2019
Proyecto 4	Acueducto_H_2019.11.28_001 Parte4	28/11/2019
Proyecto 5	Acueducto_H_2019.11.28_001 Parte5	28/11/2019
Proyecto 6	Acueducto_H_2019.11.28_001 Parte6	28/11/2019
Proyecto 7	Acueducto_H_2019.11.28_002	28/11/2019
Proyecto 8	Acueducto_H_2019.11.28_003	28/11/2019
Proyecto 9	Acueducto_H_2019.11.29_001 Parte1	29/11/2019
Proyecto 10	Acueducto_H_2019.11.29_001 Parte 2	29/11/2019
Proyecto 11	Acueducto_H_2019.11.29_002	29/11/2019
Proyecto 12	Acueducto_H_2019.11.29_003	29/11/2019
Proyecto 13	Acueducto_H_2019.11.29_005	29/11/2019
Proyecto 14	Acueducto_H_2019.11.29_006	29/11/2019
Proyecto 15	Acueducto_H_2019.11.29_007 Parte 1	29/11/2019
Proyecto 16	Acueducto_H_2019.11.29_007 Parte 2	29/11/2019
Proyecto 17	Acueducto_H_2019.11.29_008	29/11/2019
Proyecto 18	Acueducto_H_2019.11.30_001	30/11/2019
Proyecto 19	Acueducto_H_2019.11.30_002	30/11/2019
Proyecto 20	Acueducto_H_2019.11.30_003	30/11/2019
Proyecto 21	Acueducto_H_2019.11.30_004	30/11/2019
Proyecto 22	Acueducto_H_2019.11.30_005	30/11/2019
Proyecto 23	Acueducto_H_2019.11.30_006	30/11/2019
Proyecto 24	Acueducto_H_2019.11.30_007	30/11/2019
Proyecto 25	Acueducto_H_2019.11.30_008 Parte 1	30/11/2019

Proyecto 26	Acueducto_H_2019.11.30_008 Parte 2	30/11/2019
Proyecto 27	Acueducto_H_2019.11.30_009	30/11/2019



Fig. 3 a y b. Plano general de áreas prospectadas en la parcela Loki (a) y Hermod (b).

Los datos de la campaña GPR han sido analizados en conjunto con las curvas de nivel del terreno, generadas específicamente para este estudio cada 0,50 m. A este respecto, es importante resaltar que este tipo de estructuras de conducción de agua mantienen un nivel topográfico bastante constante, que en esta zona se localiza en torno a unos 104 m.s.n.m. Esta información se deduce del extradós detectado en la zona próxima a la Subestación de Gas, punto T40 de la tesis doctoral (Pérez-Marrero 2013) medida en 103 m.s.n.m.

Adicionalmente se ha realizado un análisis de detección superficial de la conducción romana en este ámbito, a partir del estudio de una serie de imágenes áreas históricas de la zona. Esta información puesta en conjunto con los datos obtenidos en la campaña GPR y la topografía han permitido el ajuste de la hipótesis de trazado previa y la definición del *buffer* de cautela arqueológica propuesta.

Los resultados totales de la exploración geofísica GPR se muestran en las figuras anexas.

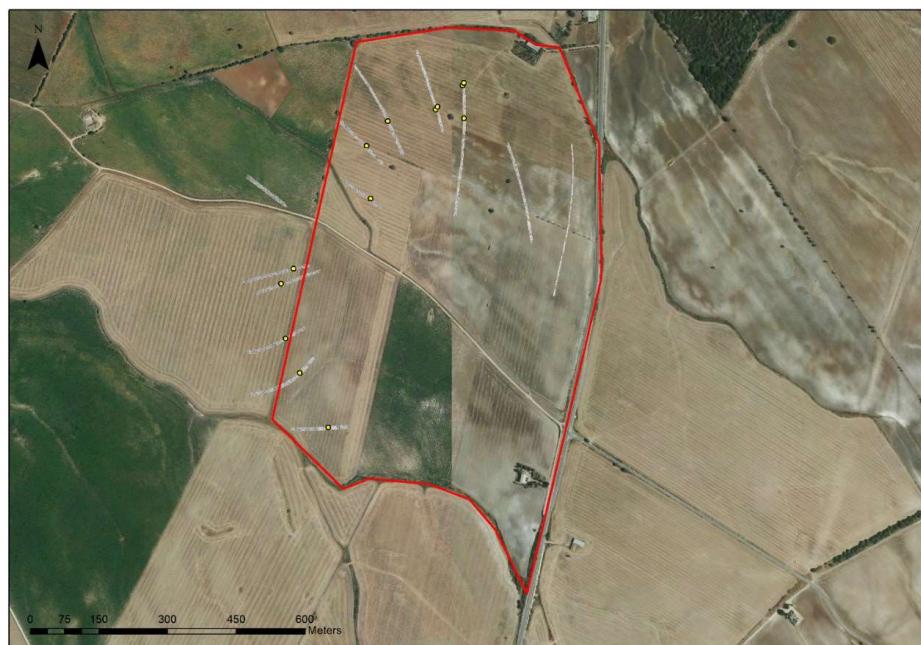


Fig. 4. Resultado de la campaña GPR en planta, se muestra los T-slices sobre la ortofotografía PNOA máxima actualidad. Se señalan con puntos en amarillo las señales significativas detectadas en la campaña GPR en Loki.

Es importante señalar que la determinación de la existencia del acueducto es un hecho confirmado en la zona Este de la parcela Loki, aguas arriba del resto arqueológico de galería inmediato al arroyo, punto T-40 de la tesis doctoral antes citada. No ocurre lo mismo en la zona Oeste, en donde las señales resultantes de la exploración no presentan una continuidad que permita definir con toda claridad el trazado. Esta situación debe tenerse en cuenta a la hora de plantear el seguimiento de los trabajos en el momento de implantación del parque Fotovoltaico.

El resultado del presente informe es el ajuste de la hipótesis de trazado previa del acueducto romano atendiendo a los resultados de la campaña de prospección geofísica GPR, tal y como se muestra en las siguientes imágenes:

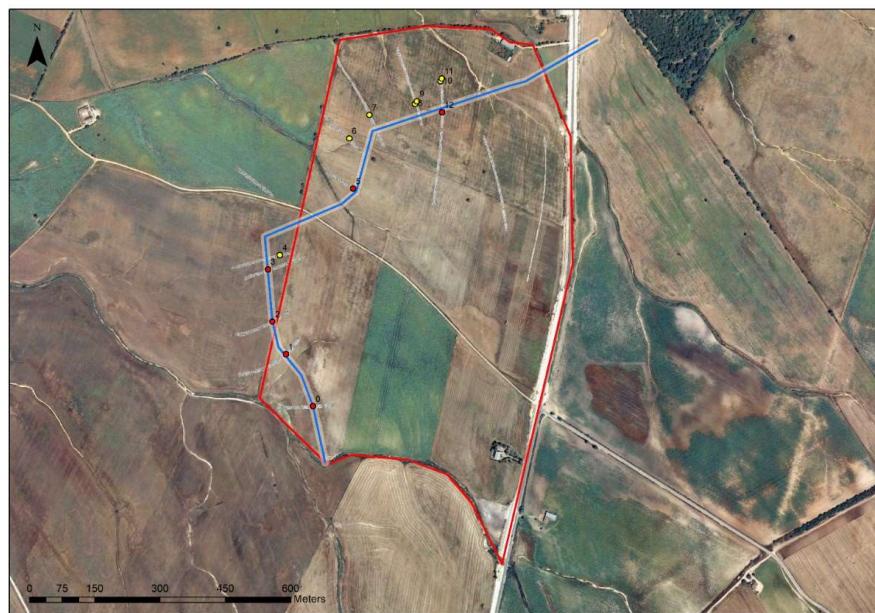


Fig. 5. Posible trazado del acueducto romano de Cádiz después del proceso de ajuste en la parcela LOKI.
Se señalan con puntos numerados con señales significativas detectadas en la campaña GPR.



Fig. 6. Posible trazado del acueducto romano de Cádiz en el parque Hermod.

4. RECOMENDACIONES

La prospección geofísica se planteó como alternativa a los sondeos arqueológicos en los puntos LOKI-1 y LOKI-2 localizados en las prospecciones arqueológicas en el Informe arqueológico de la Administración, donde se establecían los controles de protección del acueducto. En el mismo se establecían “márgenes de protección no inferiores a 25 m. a ambos lados del acueducto” (sic).

Por este motivo, proponemos que esta medida de 50 metros se ajuste sobre el trazado georreferenciado que aportamos en el informe. Entendemos que la cautela se extiende linealmente, siendo únicamente salvable por obras que no intersecten la construcción patrimonial, ya sea por debajo de su cota inferior o por encima de la cota de techo de muro.

Se proponen tres áreas de paso sobre el posible trazado del acueducto romano para la construcción de zanjas del Parque Fotovoltaico en Loki, donde se puede estudiar una intersección perpendicular al acueducto. Estas zonas han sido seleccionadas desde la campaña geofísica en puntos donde existen menos probabilidad de afección por no haberse detectado la canalización al completo. No obstante, no se puede confirmar la ausencia total de restos arqueológicos en dichas tres áreas.

La opción patrimonial más adecuada sería la realización de pasos de línea subterráneos por debajo de la cota inferior de construcción del bien patrimonial. Máxime cuando se trata de un elemento lineal. No obstante, no es descartable una opción de cruce de línea a cota superficial aprovechando puntos donde el acueducto, que en este lugar es subterráneo, se encuentre parcialmente destruido. Cada una de las tres opciones, por los motivos aducidos, con carácter preventivo y como cautela de protección se realizarán con supervisión técnica arqueológica.

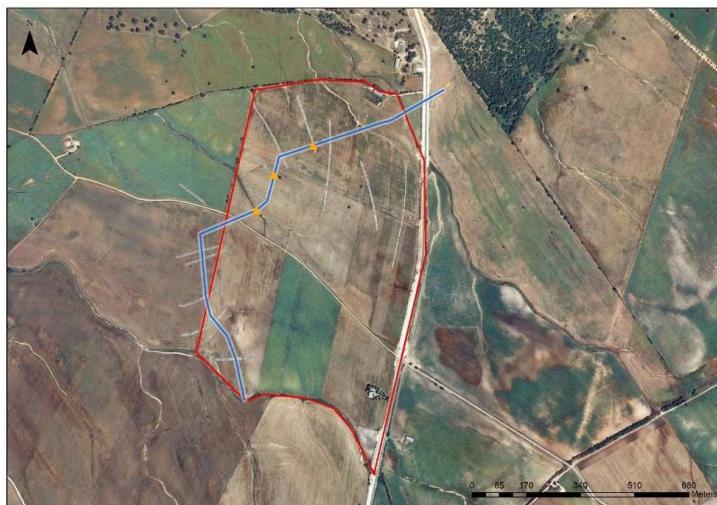


Fig. 7. Áreas de paso propuestas para las líneas del Parque Fotovoltaico Loki. Coordenadas ETRS89-H30.
P1. 244326-4053.480. P2. 244505-4053684. P3.244379-4053591.

5. BIBLIOGRAFÍA.

ESPECÍFICA

- A. VAZQUEZ-RODRÍGUEZ, *Informe preliminar de actividad arqueológica de estudio y documentación gráfica según decreto 379/2009 en relación a futuro parque fotovoltaico 27,7 mw hermod (los isletes bajos) y línea eléctrica subterránea de evacuación. t.m. jerez de la frontera (Cádiz , 2019).*
- L. LAGÓSTENA-BARRIOS, AQVA DVCTA, *Actuaciones para la valorización patrimonial, económica y social del acueducto romano de la sierra a Gades (Cádiz 2014-2015).*
- J. PÉREZ-MARRERO, *El trazado del acueducto romano de Cádiz*, tesis doctoral, inédita, 2013.
- INFORME PROSPECCIÓN GEOFÍSICA GPR PARA LA LOCALIZACIÓN DEL TRAZADO DEL ACUEDUCTO ROMANO DE GADES ASOCIADA AL PROYECTO DEL PARQUE FOTOVOLTAICO HERMOD (LOS ISLETES BAJOS) TM JEREZ DE LA FRONTERA, CÁDIZ. UNIDAD DE GEODETECCIÓN DEL PATRIMONIO HISTÓRICO. UCA. Diciembre 2019
- INFORME PROSPECCIÓN GEOFÍSICA GPR PARA LA LOCALIZACIÓN DEL TRAZADO DEL ACUEDUCTO ROMANO DE GADES ASOCIADA AL PROYECTO DEL PARQUE FOTOVOLTAICO LOKI (LOS ISLETES BAJOS) TM JEREZ DE LA FRONTERA, CÁDIZ. UNIDAD DE GEODETECCIÓN DEL PATRIMONIO HISTÓRICO. UCA. Diciembre 2019

GENERAL

- A.P. ANNAN, *Ground Penetrating Radar: workshop notes*, 2001.
- L. CONYERS, "Discovery, mapping and interpretation of buried cultural resources non-invasively with ground-penetrating radar", *Journal of Geophysics and Engineering* 8, 2011, pp. 813-822.
- L. CONYERS, D. GOODMAN, *Ground Penetrating Radar: An Introduction for Archaeologists*, 1997.
- C. CORSI, B. SLAPSAK, F. VERMEULEN, *Good practice in archaeological diagnostics. Noninvasive survey of complex archaeological sites*, 2013.
- D.J. DANIELS, *Ground Penetrating Radar*, 2004.
- D. GOODMAN, A. Novo, G. MORELLI, S. PIRO, D. KUTRUBES, H. LORENZO, "Advances in GPR imaging with multi-channel radar systems from engineering to archaeology", *Proceedings of the 24th SAGEEP Conference*, 2011.
- D. GOODMAN, S. PIRO, *GPR remote sensing in archaeology*, 2013.
- H. M. JOL, *Ground Penetrating Radar: theory and applications*, Amsterdam, 2009.
- A. SARRIS, N. PAPADOPOULOS, "Looking for graves: geophysical prospections of cemeteries", *CHNT 17*, 2012.
- A. SARRIS, (ed), *Best Practices of GeoInformatic Technologies for the Mapping of Archaeolandscapes*. Archaeopress Archaeology, 2015.
- A. SCOLLAR, A. TABBAGH, A. HESSE, I. HERZOG, *Archaeological Prospecting and Remote Sensing, Topics in Remote Sensing*, 2, Cambridge University Press, 1990.

- W. ZHAO, E., FORTE, M., PIPAN, G. TIAN, "Ground Penetrating Radar (GPR) attribute analysis for archaeological prospection", *Journal of Applied Geophysics*, vol. 97, 2013, pp. 107-117.