



Received: 24-05-2018
Accepted: 28-07-2018

Anales de Edificación
Vol. 4, Nº 2, 19-24 (2018)
ISSN: 2444-1309
Doi: 10.20868/ade.2018.3774

Uso del georradar para la identificación y definición geométrica de estructuras de cimentación en edificaciones existentes.

Use of georadar for the identification and geometric definition of foundation structures in existing buildings.

P.L. López^a, O. Pueyo^b, A. Pocovi^b, J.A. Pérez^a, J.C. Sánchez^a

^aEscuela Universitaria Politécnica de La Almunia (pllopez@unizar.es; joanpebe@unizar.es; jucasan@unizar.es),
^bUniversidad de Zaragoza (opueyo@gmail.com; apocovi@unizar.es)

Resumen— Se presenta en este trabajo un resumen de los resultados obtenidos en los últimos años en la caracterización de distintas estructuras de cimentación mediante georradar, metodología no invasiva que con la combinación de antenas de distintas frecuencias permite conocer el tipo de cimentación superficial (zapata, losa), sus dimensiones en planta y en profundidad, así como los niveles de armadura interna existentes. En el caso de las cimentaciones profundas su aplicabilidad es más limitada, pero en determinadas condiciones, puede suministrar los parámetros geométricos principales. La información así obtenida permite abordar los proyectos de rehabilitación con una mayor seguridad y economía de recursos, al permitir conocer las geometrías de los elementos de cimentación y su variación, sin necesidad de acceder al subsuelo de forma directa o al menos para reducir la caracterización directa o dotar a dichos resultados de representatividad.

Palabras clave— Cimentaciones; rehabilitación; georradar; dimensiones.

Abstract- This paper presents a summary of the results obtained in recent years in the characterization of different foundation structures by means of georadar, a non-invasive methodology that with the combination of antennas of different frequencies allows to know the type of surface foundation (zapata, slab), its dimensions in plan and in depth, as well as the existing internal reinforcement levels. In the case of deep foundations, its applicability is more limited, but under certain conditions, it can supply the main geometric parameters. The information thus obtained allows us to address the rehabilitation projects with greater security and economy of resources, by allowing to know the geometries of the foundation elements and their variation, without the need to access the subsoil directly or at least to reduce the direct characterization or endowing said results with representativeness.

Index Terms— Foundations; rehabilitation; georadar; dimensions.

I. INTRODUCCIÓN

Las características concretas de las estructuras de cimentación en edificios existentes no siempre se conocen de forma detallada, especialmente en ámbitos como la restauración monumental, donde la documentación técnica suele adolecer frecuentemente de falta de datos esenciales. En otras situaciones, son los planteamientos de rehabilitación de edificios los que precisan del conocimiento lo más preciso posible de las características de una concreta estructura de cimentación, en especial el tipo y las dimensiones de sus elementos.

El método tradicionalmente más empleado es la combinación del análisis de la documentación técnica recabada (que puede ser existente o inexistente, y con un grado de definición y fiabilidad variable) con la comprobación visual mediante un estudio de dimensiones basado en observaciones mediante la apertura de catas o pozos. Dichas observaciones, huelga decirlo, son comprobaciones puntuales que no pueden presentar gran extensión para no comprometer la integridad estructural del edificio, ya que se trata de una metodología invasiva.

El georradar (también conocido como radar de penetración terrestre, o GPR según sus iniciales en inglés) es un método de prospección geofísica ampliamente utilizado en Geología, pero cuyo empleo se está extendiendo cada vez más en Ingeniería y Arquitectura, ya que se está mostrando especialmente eficaz como medio de inspección no invasiva para la identificación de estructuras enterradas. Entre sus aplicaciones en el ámbito constructivo destaca la localización de servicios enterrados, pero también se está utilizando cada vez más en evaluación de estructuras de cimentación (Abbas et al., 2005; Booth et al., 2010; De Domenico et al., 2013) como un método para su identificación y definición geométrica, principalmente en las de tipo superficial (Pueyo et al., 2016). En el presente trabajo se ofrece una serie de resultados que ilustra la potencialidad de esta metodología en la inspección no sólo de las estructuras de cimentación superficial, sino también en el caso de cimentaciones profundas, basados en la experiencia acumulada en la prestación de asesoría para rehabilitación de edificios en ámbitos tanto de edificación residencial como industrial.

II. METODOLOGÍA

La prospección geofísica se basa en la emisión y recepción de ondas mediante dispositivos móviles. El georradar trabaja con ondas electromagnéticas moduladas en un medio, de manera que tanto la emisión como la recepción tienen lugar desde la superficie. Las ondas retornadas provienen de su reflexión en el subsuelo, producida por cambios en las propiedades eléctricas del medio (constante dieléctrica). En medios totalmente naturales, dicha reflexión se debe

principalmente a variaciones en el contenido en agua, pero también a variaciones del contenido en materia orgánica, en la mineralogía del medio o en la proporción de sales disueltas (Van Dam and Schlager, 2000). Por otra parte, en medios donde ha intervenido el hombre, las reflexiones se deben principalmente a los cambios impuestos por la presencia de materiales constructivos o por alteraciones del medio natural (por ejemplo, excavaciones).

Los resultados de la prospección geofísica por georradar dependen de las frecuencias de las antenas utilizadas. Los resultados que se presentan en este trabajo se han obtenido utilizando antenas con frecuencias centrales de 100, 250 y 500 MHz. Así, para un mismo emplazamiento sometido a estudio, existe una relación entre la frecuencia empleada y los resultados que se pueden obtener: a mayor frecuencia, mejor resolución, pero menor profundidad alcanzada. Por ello, la elección de las antenas para cada caso deberá realizarse en función de los objetivos concretos a alcanzar, pero es normal combinar los resultados obtenidos con antenas de varias frecuencias.

Como se ha comentado anteriormente, la prospección por georradar registra las reflexiones producidas en el subsuelo y provocadas por cambios en la constante dieléctrica del medio. En la prospección de estructuras de cimentación, el material no natural de presencia más frecuente es el hormigón. La constante dieléctrica del hormigón se encuentra entre 6 y 8, mientras que los suelos arcillosos pueden variar entre 3 y 15 (Reynolds, 1997); además, cuanto más húmedo está el suelo, mayor será el valor de su constante dieléctrica y menor su velocidad de propagación. El registro de las reflexiones producidas a lo largo de un perfil permitirá definir, de forma no invasiva, las zonas de contacto entre los elementos de cimentación y el terreno que los rodea (tanto de forma lateral como por debajo del mismo), y la calidad de dicha definición dependerá del contraste entre las constantes dieléctricas de ambos grupos de materiales. En general y por esta razón, la caracterización en planta de la extensión de elementos de cimentación superficial suele ser sencilla, pero la localización precisa de su base de apoyo sobre el sustrato puede presentar resultados ambiguos.

Finalmente, cabe añadir que los resultados brutos obtenidos en una campaña de prospección necesitan ser procesados, eliminándose ruido, ecos y/o reverberaciones, y su adecuada interpretación precisa del conocimiento de las características geológicas del sustrato. No obstante, en los casos en que no existe información previa y la interpretación del origen de las anomalías no puede contrastarse, los resultados pueden aun así utilizarse de forma eficaz para evaluar la homogeneidad de las cimentaciones, así como para realizar análisis comparativos entre distintos elementos.

En el apartado siguiente se presenta un grupo de perfiles de georradar realizados en construcciones apoyadas sobre distintos tipos de cimentaciones: zapatas aisladas, losa de cimentación y

pilotes.

III. RESULTADOS

A. Zapatas aisladas

En este primer ejemplo se realizó la prospección en una edificación industrial, en las proximidades de pilares apoyados sobre elementos de cimentación aislados (zapatas), y el objetivo era conocer con la mayor precisión posible las dimensiones en planta y el canto de dichos elementos. Como ejemplo de la prospección, llevada a cabo en cada uno de los pilares existentes, se presentan los perfiles de la Figura 1, que corresponden a la prospección mediante georradar realizados con antenas con frecuencias centrales de 250 y 500 MHz. En ambos casos se puede identificar claramente los contactos laterales de las zapatas con el terreno circundante, apareciendo la zapata como un medio comparativamente mucho más reflectivo y delimitado espacialmente por contactos subverticales. En este sentido, los resultados obtenidos mediante la antena de 250 MHz son mucho más netos, mientras que los obtenidos con la de 500 MHz muestran morfologías más irregulares. Las dimensiones en planta de los elementos aislados eran aproximadamente de 1x1 m.

Por otra parte, en la búsqueda de la definición geométrica del canto de la zapata, el refinamiento de los registros ha permitido constatar que el contacto inferior del elemento portante se identifica como una reducción de la amplitud neta en el perfil mediante la antena de 250 MHz, mientras que en el otro caso apenas se identifica dicho cambio. Para localizar la base de la zapata (y poder así definir su canto), se ha utilizado la identificación de la morfología esperable para la onda en un medio homogéneo, ya que en la vertical se pasa de un medio relativamente heterogéneo (elemento de hormigón con armadura metálica embebida, materiales que tienen un comportamiento dieléctrico muy diferente entre sí), a un sustrato de apoyo en general mucho más homogéneo en este

sentido. No obstante, se ha podido comprobar que la definición de la base de las zapatas no es tan directa como la determinación de sus dimensiones en planta, lo que implica un tratamiento especial de los resultados brutos de la prospección. El contacto identificado entre la base de la zapata y el terreno de apoyo se localizó a 1 m de profundidad, lo que permitió definir el canto de los elementos de cimentación existentes.

B. Losa de cimentación

El segundo ejemplo presenta los resultados de la prospección de la cimentación de un edificio de viviendas apoyado sobre una losa armada. Para la prospección se han empleado antenas con frecuencias centrales de 100, 250 y 500 MHz, ya que el objetivo no era sólo la definición de la estructura de cimentación, sino también la observación de posibles heterogeneidades en el sustrato de apoyo de la misma. La prospección llevada a cabo mediante tres antenas con distintas frecuencias centrales ha permitido identificar el mismo elemento pero con diferente grado de profundidad y resolución.

Un ejemplo de los resultados obtenidos en la prospección se muestra en la Figura 2, con diferentes grados de detalle y de procesamiento. Los resultados obtenidos y su tratamiento han permitido comprobar que la losa tenía un canto de aproximadamente 1 m, poseía dos niveles de armado embebidos (detectados por tratarse de anomalías puntuales de alto contraste), y se apoyaba sobre una capa de hormigón de limpieza a modo de homogeneización topográfica. La identificación de todos estos elementos ha resultado difícil con la antena de 100 MHz, mientras que el registro obtenido con la de 250 MHz permite localizar la base de la losa. Por su parte, la antena de 500 MHz, que permite obtener un grado de precisión mucho mayor aunque con un alcance total más limitado que las otras dos, ha suministrado un perfil que permite identificar de forma clara y evidente todos los elementos constructivos citados.

A la hora de estudiar las características del terreno situado por debajo de la losa, la potencialidad de las tres antenas se

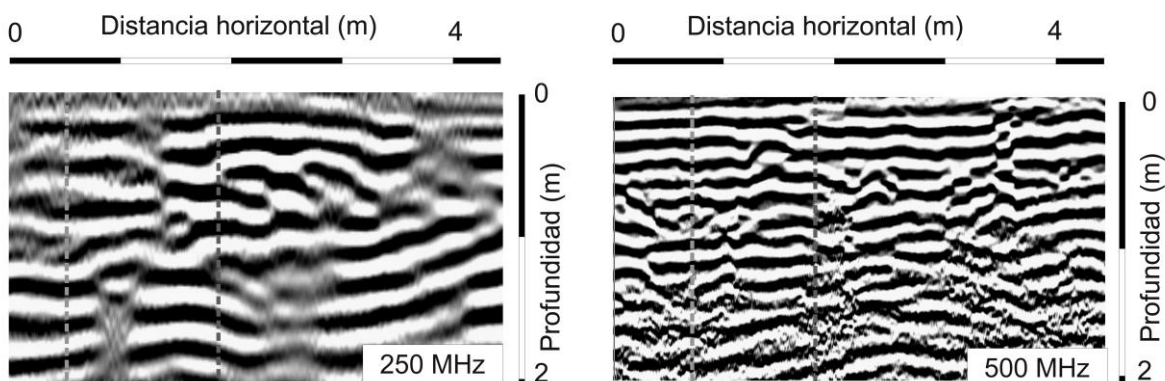


Fig. 1. Perfiles de georradar sobre un mismo elemento de cimentación aislado (zapata), realizados con antenas de 250 y 500 MHz. Las líneas discontinuas indican los límites laterales de una de las zapatas.

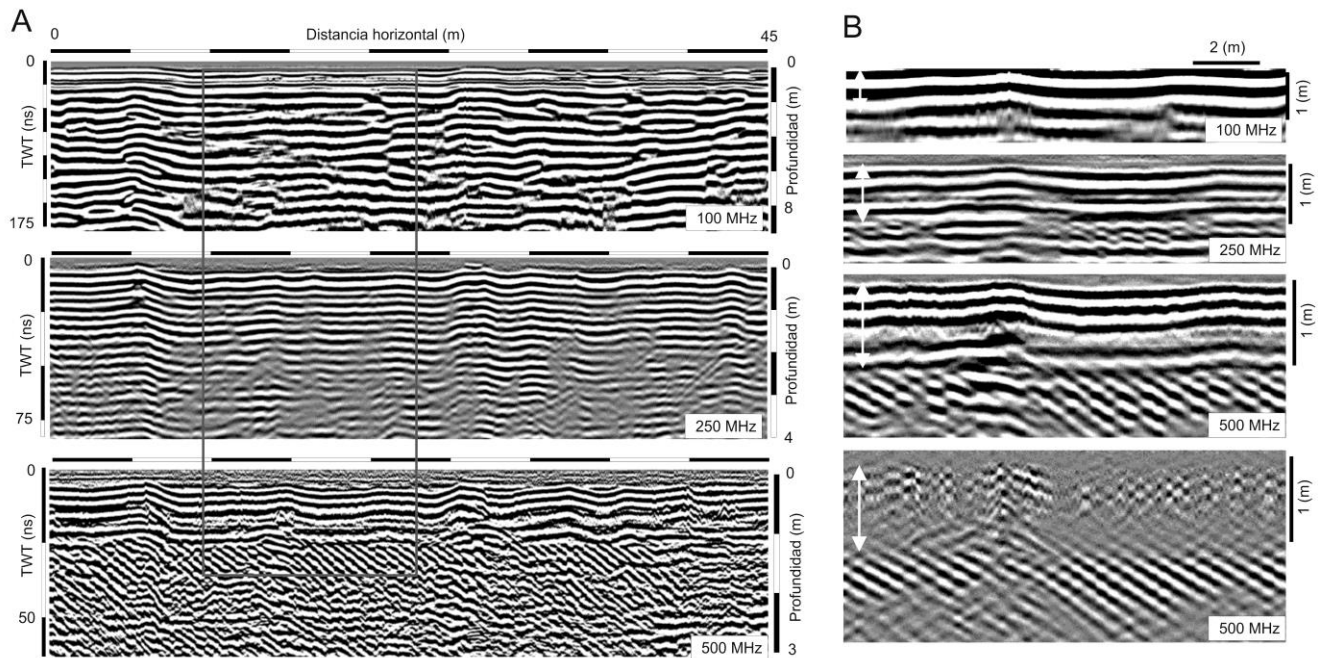


Fig. 2. A) Perfiles de georradar realizados sobre una estructura de losa de cimentación con antenas de 100, 250 y 500 MHz. B) Detalles de los perfiles previos, con indicación de la extensión del canto de la losa (en el caso del perfil de 500 MHz, se incluye un segundo procesado con otra metodología de refinamiento de los datos).

invierte, ya que mientras la de 500 MHz no permite obtener información interpretable por debajo de la base de la losa, el perfil obtenido con la de 100 MHz identifica anomalías o cambios en el subsuelo donde se apoya la cimentación estudiada.

C. Pilotes

Las condiciones en la prospección de cimentaciones profundas cambian drásticamente respecto de las existentes en el caso de estructuras superficiales. Cuando se prospeccionan elementos tipo zapata o losa, la emisión y recepción de las ondas se lleva a cabo en la vertical del elemento portante prospectado, ya que éste se extiende en planta más allá del espacio ocupado por los pilares, y la reflexión de las ondas emitidas muestra los cambios en la vertical del punto de estudio. Por el contrario, en el caso de una cimentación sobre pilotes, que en edificación en general se suele tratar de elementos aislados bajo pilares (y no como grupos de pilotes), la prospección mediante georradar debe adaptarse a buscar contrastes entre estructura y terreno no situados en la vertical de los puntos de prospección.

La prospección geofísica por georradar emite en un cono de propagación de ondas en la vertical del punto de muestreo. Esta evaluación geométrica supone que la identificación de la propagación del elemento portante analizado, asumido como relacionado con pilotes que se desarrollan como propagación vertical de los pilares superficiales, va a realizarse a través de la

caracterización indirecta lateral de la prospección. En este sentido, los registros mostrarían tanto la presencia de cambios en la vertical de prospección, como también de forma lateral a éste y que se puede producir tanto registros asociados a los cambios en la reflectividad de los materiales localizados en la vertical, como también la propagación lateral del elemento portante, que podrá producir un registro de reflexión múltiple. A partir de todo ello se ha realizado la interpretación de los registros en relación a la presencia de elementos de alto contraste (estructuras verticales de hormigón), a partir de la caracterización lateral e indirecta de los registros obtenidos.

Los datos obtenidos permiten identificar la presencia de un nivel superficial continuo (losa) de un canto ligeramente superior a 1 m, y bajo el mismo se observan los pilotes como continuidad en la vertical de los pilares superficiales identificados; los pilotes se detectan en este caso a partir de la propagación lateral de las ondas emitidas y que definen una extensión de la estructura constructiva del pilar en profundidad (ver ejemplo del tipo de perfiles y su interpretación en la Figura 3). La distribución de los cambios mencionados y de los reflectores identificados permite definir una estructura de cimentación constituida por un sistema losa-pilotes, estando los elementos de cimentación profunda localizados bajo los pilares principales, hasta una profundidad aproximada de 6 m bajo la superficie de la apoyo de la losa.

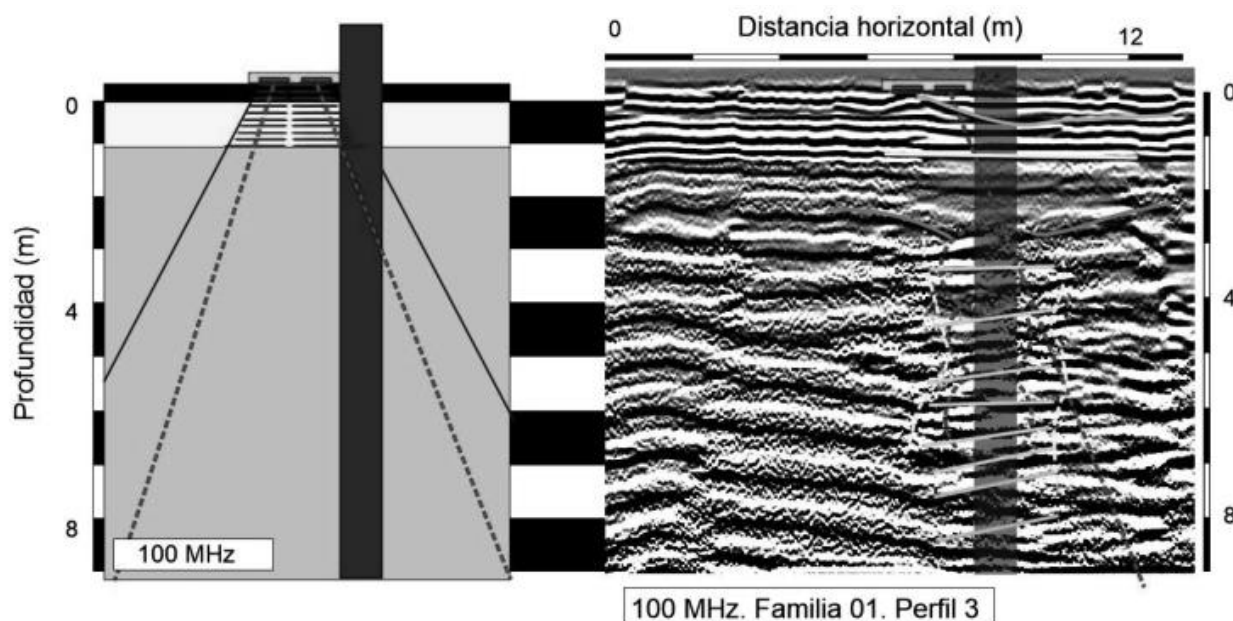


Fig. 3. A la izquierda, esquema de la propagación cónica de las ondas emitidas por el georradar. A la derecha, ejemplo de perfil obtenido en la prospección de pilotes.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La prospección geofísica mediante georradar se está mostrando como una metodología aplicable a la identificación y definición de las estructuras de cimentación en situaciones en las que, partiendo de una insuficiencia en la información técnica previa, resulta preciso conocer qué tipo de estructuras existen y qué dimensiones presentan. Esta metodología permite ir más allá de las simples y puntuales comprobaciones mediante catas o pozos, y cubrir de una manera rápida y no invasiva grandes superficies de prospección.

A la vista de los resultados presentados y de la información recabada a lo largo de varios años de investigación aplicada, los aspectos clave de la prospección mediante georradar son los siguientes:

a) Uso combinado de antenas de diferentes frecuencias centrales. Cada frecuencia permite un alcance y una definición distintos. Así, las frecuencias menores (por ejemplo, 100 MHz) permiten alcanzar mayores profundidades pero menor resolución geométrica, mientras que las frecuencias mayores (500 MHz) permiten definir con precisión las dimensiones de los elementos de cimentación superficiales y la existencia de sus armaduras internas, pero sólo hasta profundidades limitadas. El uso de antenas de 100 MHz permite además la inspección del terreno de apoyo de la losa, especialmente útil en el caso del estudio de patologías que puedan tener relación con algún problema del subsuelo.

b) Importancia de la información geotécnica. La prospección permite recoger perfiles de reflexión de ondas por parte de los elementos del subsuelo, tanto los naturales como los constructivos. Para su interpretación es necesario el tratamiento de los datos recogidos, por lo que el conocimiento de los materiales naturales presentes en el subsuelo (por ejemplo, mediante una adecuada prospección geotécnica) permitirá refinar las conclusiones alcanzables.

c) La interpretación de los perfiles no siempre da lugar a definiciones precisas de las dimensiones de los elementos de cimentación, ya que depende en gran medida del tipo de material natural que los rodea y de la información disponible. Así, mientras las estructuras de cimentación suelen estar constituidas por hormigón y armaduras metálicas, los materiales del subsuelo poseen un rango variable de valores de la constante dieléctrica. Además, la presencia de contenidos variables de humedad en el subsuelo e incluso de un nivel freático próximo a la superficie interfieren en la propagación de las ondas, todo lo cual es preciso tener en cuenta a la hora de interpretar los perfiles obtenidos y alcanzar el mayor grado de precisión posible.

Los casos seleccionados corresponden a las tres soluciones de cimentación más generales, y en todos ellos se ha conseguido obtener información de interés indudable para las actuaciones proyectadas, normalmente relacionadas con proyectos de rehabilitación en los que era necesario conocer la tipología de las cimentaciones existentes y sus dimensiones. La prospección permite, en primer lugar, conocer la tipología de cimentación

empleada en los casos en los que no se posee conocimiento previo.

En el caso de las cimentaciones superficiales tipo zapata, la prospección geofísica permite definir con precisión si se trata de elementos aislados o corridos, así como sus dimensiones en planta. Por su parte, la definición del canto puede ser más o menos compleja, en función del tipo de material donde se apoya, aunque la disponibilidad de información geotécnica permite alcanzar una mayor precisión en su determinación.

En el caso de cimentaciones superficiales mediante losa, esta metodología permite definir el canto de la misma con los mismos condicionantes expresados en el caso de las zapatas. Además, el uso de antenas de frecuencias centrales altas (500 MHz) permite discriminar la presencia y el número de niveles de armadura presentes en el interior de la losa.

Finalmente, para el caso de prospección de cimentaciones tipo pilotes se ha presentado un caso en el que ha sido posible definir la longitud y diámetro de los pilotes situados bajo una losa de hormigón. La propagación de ondas con geometría cónica por debajo del dispositivo emisor permite realizar el estudio mediante una caracterización indirecta lateral. En general, la definición de la longitud de los pilotes perderá precisión conforme aumente su profundidad, pero la prospección permitirá conocer una longitud mínima que en algunos casos será suficiente como comprobación de la cimentación existente.

Esta metodología también se puede emplear como control de calidad en la ejecución de cimentaciones, cuando exista algún tipo de duda o en el marco de una reclamación que involucre a un posible defecto en la ejecución de la obra. Por todo ello, queda demostrado el interés que presenta la prospección geofísica mediante georradar en el ámbito constructivo, y que todavía tiene margen de mejora vía investigación, sobre todo en el caso de la definición de las dimensiones en pilotes.

REFERENCIAS

- Abbas, A. M., Kamei, H., Helal, A., Atya, M. A. & Shaaban, F. A. (2005). Contribution of geophysics to outlining the foundation structure of the Islamic Museum, Cairo, Egypt. *Archaeological Prospection*, 12, 167-176.
- Booth, A. D., Clark, R. A., Hamilton, K. & Murray, T. (2010). Multi-offset ground penetrating radar methods to image buried foundations of a medieval town wall, Great Yarmouth, UK. *Archaeological Prospection*, 17, 103-116.
- De Domenico, D., Teramo, A., & Campo, D. (2013). GPR surveys for the characterization of foundation plinths within a seismic vulnerability analysis. *Journal of Geophysics and Engineering*, 10, 034007.
- Pueyo, O., López, P., Pérez, J.A., Bartolomé, J.I., y Pocoví, A. (2016). Evaluación sobre la caracterización de distintos tipos de cimentaciones superficiales por medio de georradar. *Geogaceta*, 60, 123-126.
- Reynolds, J. M. (1997). *An introduction to applied and environmental geophysics*. John Wiley, Chichester, England, 796.
- Van Dam, R. L., and Schlager, W. (2000). Identifying causes of ground-penetrating radar reflections using time-domain reflectometry and sedimentological analyses. *Sedimentology*, 47, 435-449.



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.