

Herramienta software para optimizar la utilización de sistemas electromagnéticos de prospección geofísica en la Arqueología

Fco. Guzmán Navarro¹, M. Meco Gutiérrez¹, J.R. Heredia Larrubia², Fco. Pérez Hidalgo¹

¹ Dpto. Ingeniería Eléctrica. Universidad de Málaga. España.

² Dpto. Tecnología Electrónica. Universidad de Málaga. España.

Resumen

El objeto de esta ponencia es presentar una aplicación informática encaminada a optimizar las lecturas obtenidas con la utilización de un sistema de radar de subsuelo. Esta herramienta software ha sido contrastada mediante su empleo en el Conjunto Arqueológico de Baelo Claudia en Tarifa (estudio del decumanus maximus y localización de la entrada norte de la ciudad) y en prospecciones varias realizadas hasta la fecha por este grupo (localización de fosas para las asociaciones de memoria histórica de Málaga y Cádiz).

Palabras Clave: GEORADAR, PROSPECCIONES GEOFÍSICAS, ARQUEOLOGÍA

Abstract

This article shows the applicability of ground penetrating radar (GPR) to archaeological investigations, with the aid of a software that allows increasing the resolution of the measurements. This software has been applied for the first time in Baelo Claud in order to obtain information about city's decumanus and the crossing with cardines minores. Furthermore, the developed tools has also been used to locate in Málaga and Puerto Real (Cádiz) common graves where the remains of about 2,600 victims of the Spanish Civil War rest and the repression that came before and after the civil conflict.

Key words: GPR, GEOPHYSICAL PROSPECTIONS, ARCHAEOLOGY

1. Introducción

Los sistemas geofísicos de exploración del subsuelo fueron diseñados para ser aplicados a la búsqueda de bolsas de materiales en los que se podía considerar unas propiedades físicas homogéneas y diferenciales del tipo de medio en el que están inmersos (VEGA PÉREZ, 2001). De esta manera lo que se intenta localizar son volúmenes de tamaño relativamente importante de forma que se caractericen de su entorno. La utilización de estos sistemas encuentra una grave limitación cuando se trata de analizar extensiones relativamente importantes de terreno debido a la cantidad de información a manejar. Cuando se trata de aplicarlos a búsquedas que requieren una precisión y sensibilidad a una profundidad no conocida, como puede ser el caso de la Arqueología, nos encontramos con problemas adicionales para interpretar alteraciones relativamente pequeñas (sobre todo cuando lo que se intentan localizar no son estructuras sino niveles fértiles de depósito material).

Evidentemente no vamos a descubrir la ayuda que proporciona el empleo de este tipo de tecnología a las campañas arqueológicas. Basta destacar los esfuerzos ahorrados con la detección negativa de estratos fértiles o, como nos ha sucedido en Baelo, la necesidad de realizar varias campañas de excavación con el objetivo de localizar determinados elementos fácilmente detectables empleando estos equipos.

Hasta ahora, el tratamiento de las lecturas obtenidas con los registros o radargramas, tenía el inconveniente adicional de la cantidad de información con la que había que trabajar a la hora de realizar matrices de datos, que precisaba la utilización de potentes ordenadores si se pretendía abarcar varios perfiles para una posterior construcción de un volumen tridimensional. El tratamiento posterior de esta información mediante herramientas matemáticas de procesado (transformada de Fourier, transformada de Hilbert, etc.) posibilitaba el enmascaramiento de alteraciones cuando estas fueran debidas a elementos relativamente pequeños o que se encontrasen a una determinada profundidad.

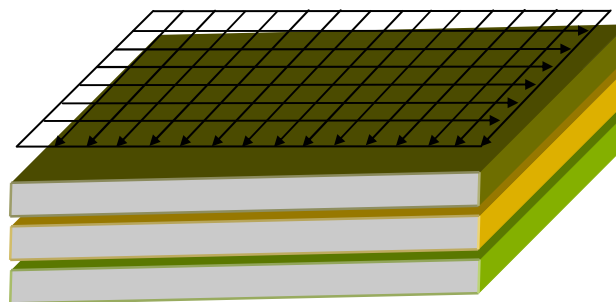


Figura 1. Tratamiento en capas del volumen a estudiar

2. Naturaleza de la investigación

La herramienta que hemos desarrollado (implementada mediante Matlab) intenta facilitar el que las exploraciones arqueológicas puedan emplear los sistemas de prospección geofísicos con un grado mayor de certidumbre al permitir establecer unos criterios de tolerancia y sensibilidad en función de los parámetros con los que se esté trabajando en la búsqueda en cuestión, facilitando la localización de restos arqueológicos independientemente de su número y tamaño (aunque siempre dentro de las limitaciones inherentes al propio sistema de prospección empleado).

En una primera aproximación, y de manera sucinta, lo que pretendemos es aprovechar las lecturas del subsuelo realizadas empleando un georadar para, mediante la comprensión y tratamiento de las mismas, poder facilitar al investigador primero una visión general de la zona objeto de la exploración y posteriormente la posibilidad de acotar la zona de estudio en detalle, tanto al tamaño longitudinal de la misma como de la profundidad con la que se desea trabajar, y establecer la sensibilidad que se desea tenga el análisis de dicho volumen de terreno. De esta forma, conocidas o no las características particulares del suelo en el que hay que realizar la prospección, puede llegarse a obtener una resolución máxima y diferenciada de las posibles alteraciones que se registran en los diferentes perfiles. El usuario tiene la posibilidad de representar los resultados eligiendo gamas de colores que permitan resaltar las alteraciones que considere oportunas.

La información anterior se completa con la posibilidad de una detección automática de las alteraciones registradas (cuya tolerancia es definida por el investigador y no por el programa de tratamiento suministrado por el fabricante) lo que ayuda a la localización de restos arqueológicos (si bien aumenta la potencia necesaria en el procesamiento informático y dispara las muestras con las que trabajar).

3. Adquisición de datos

En principio puede trabajarse con cualquier tipo de georadar que permita el volcado de la información obtenida en los perfiles en forma de datos ascii en los que se refleje el tiempo de llegada de la señal emitida como muestra por el equipo una vez reflejada en los diferentes elementos soterrados.

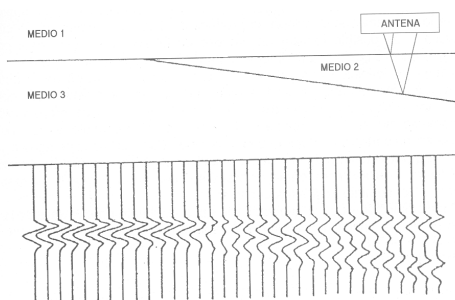


Figura 2. Generación de los trenes de muestreo y obtención de las reflexiones al encontrar objetos soterrados o cambios de medios en el terreno (LORENZO, 1996: 83)

Es recomendable la realización de un testigo en la prospección que permita determinar con relativa exactitud la penetrabilidad de la onda en el terreno objeto de estudio y, a partir de dicho valor, establecer la profundidad estimada donde se encuentren las alteraciones registradas. Sin embargo la experiencia sobre el terreno indica que este dato es de naturaleza orientativa ya que, sobre todo cuando se trata de superficies relativamente amplias, dicha velocidad varía en la medida en que lo haga la naturaleza del suelo a prospectar e, incluso, la presencia de elementos soterrados altera en sí misma dicha variación.

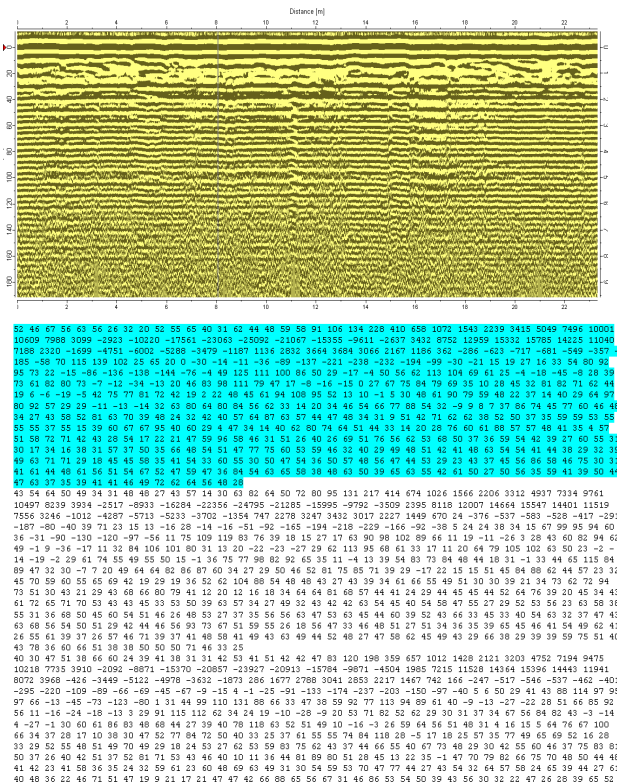


Figura 3. Representación de tiempos en formato ASCII. Este ejemplo se corresponde a una lectura realizada con una antena de 250 MHz, a una frecuencia de 2460 Hz y 501 muestras de profundidad

Igualmente es aconsejable la realización de perfiles en forma reticular, cara a una posterior composición 3D de la prospección (LORENZO, 1997), de manera que permita la determinación más exacta posible de la superficie que produce las alteraciones.

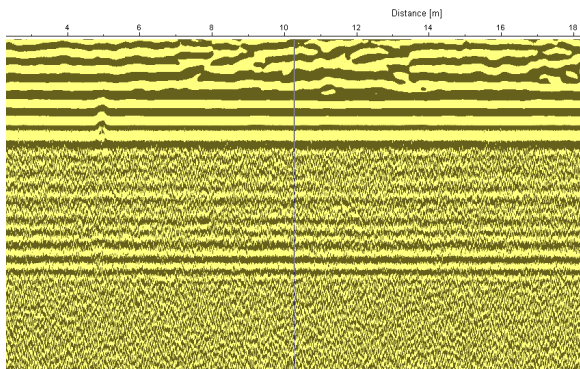
Todo lo anterior viene exigido por la imposibilidad de "ver" lo que ocasiona la alteración en los radargramas, llegando a obtener la mayor cantidad de información tanto de la alteración en sí como de su entorno y contexto de manera que pueda identificarse lo que se localiza.

Sin embargo, esta misma necesidad hace que se genere una gran cantidad de información con la que trabajar la cual, además, se ve incrementada al realizar la composición de las lecturas debido a la premeditación de los resultados que se lleva a cabo con la finalidad de rellenar el interior de las cuadrículas generadas con la metodología reticular. Lo anterior se potencia a valores intratables al proponer la composición tridimensional de la información (una prospección de 5 recorridos de unos 20 m de

longitud cada uno puede llegar a precisar 14 Gb de almacenamiento).

3. Herramienta software desarrollada

La solución que hemos adoptado consiste, a grandes rasgos, en recortar al máximo el área de trabajo pero sin perder información. Para ello se van haciendo tratamiento parciales de la información capturada, permitiendo al usuario el ir acotando la zona objeto de interés tanto en profundidad como en superficie (en planta), posibilitándose con ello una muy significativa reducción en cuanto al volumen de datos con los que trabajar. Posteriormente podrá, de nuevo, reducir el área de trabajo hasta alcanzar la máxima resolución posible, la cual será la propia que se haya empleado durante la prospección (en cuanto a resolución horizontal y vertical de la señal de muestreo emitida y los trenes de impulso generados).



391	350	280	203	152	127	138	176	205	226	235	200	104	-7	-148	-330	-435	-541	-568	-								
551	-486	-398	-265	-165	-55	-3	20	17	-40	-84	-122	-189	-256	-323	-486	-665	-844	-	-								
1072	-1301	-1421	-1450	-1358	-1159	-712	-321	288	924	1626	2355	3055	3687	4068	4381	-	-	-	-								
4423	4182	3591	2727	1429	210	-1292	-2906	-4286	-5478	-6069	-6115	-5236	-3698	-1596	-	-	-	-	-								
466	2011	3144	3754	4054	4386	5054	6226	7891	10809	13714	16822	19894	22989	24044	-	-	-	-	-								
23143	20875	16941	11267	5385	-2356	-10188	-17103	-24102	-29894	-32768	-32768	-32580	-	-	-	-	-	-	-								
-26914	-17468	-9747	-1503	4706	9395	13425	15109	14486	12608	9952	7999	6122	4848	-	-	-	-	-	-								
3684	2896	2170	1650	1150	793	509	348	229	179	118	101	91	74	62	48	39	50	44	36	35							
32	39	37	40	30	36	36	23	42	37	34	37	41	40	30	34	39	44	42	33	39	44	38	42	38	33	37	36
39	35	35	45	32	36	33	33	35	34	41	25	32	34	36	34	37	39	25	36	31	37	28	29	40	50	41	27
27	36	40	34	33	38	31	37	46	37	36	38	33	37	28	42	34	27	31	36	39	36	27	39	74	30	30	39
42	35	33	32	26	27	36	44	29	41	30	32	27	39	35	34	25	42	40	35	42	41	42	41	36	36	49	33
28	38	36	35	34	35	42	38	34	35	35	32	33	43	36	43	38	46	45	36	40	43	40	25	36	32	35	34
29	36	38	9	28	36	31	28	32	31	42	37	40	33	22	25	27	28	37	46	44	41	41	39	39	32	36	40
113	35	37	39	35	33	28	23	31	21	24	28	33	41	35	43	41	46	53	45	43	36	34	35	42	33	38	28
26	30	33	30	25	40	37	39	18	31	41	36	32	32	34	38	38	33	37	34	36	42	29	34	28	30	33	38
38	38	39	27	44	34	39	35	37	33	27	36	33	24	35	47	30	41	33	43	42	24	42	43	40	40	40	37
40	37	38	36	30	43	31	37	38	34	36	35	32	36	37	37	45	39	40	36	31	31	38	34	39	41	30	32
33	37	42	36	31	37	27	30	40	34	32	38	42	30	38	34	33	39	40	41	40	36	36	35	33	33	42	32
38	36	34	34	44	37	31	37	34	31	39	31	32	43	33	37	49	44	26	44	33	36	33	43	43	36	44	38
38	50	37	41	39	31	39	45	35	38	31	39	30	51	36	36	37	34	41	32	43	33	34	44	33	38	44	34
36	36	33	38	44	43	29	28	34	36	33	40	31	37	43	33	34	33	40	34	36	36	39	4	37	41	48	34
34	35	39	44	43	41	34	32	38	-10	36	33	35	38	35	41	26	27	42	34	40	34	42	37	27	28	38	35
35	45	31	34	32	38	35	33	35	35	33	39	43	31	39	31	40	35	42	60	37	32	45	37	40	40	46	32
32	31	36	62	35	32	35	38	40	33	36	36	38	30	35	37	45	39	45	39	35	32	35	43	27	34	38	38
32	27	34	31	29	40	33	37	25	41	39	38	37	34	35	38	40	34	42	43	46	43	37	26	36	33	43	39
39	30	35	34	45	36	31	37	35	42	37	30	39	35	32	35	42	41	45	43	40	26	40	31	35	38	33	24
40	34	40	34	35	37	37	26	40	34	42	34	39	43	42	28	30	35	32	43	43	27	44	38	31	34	35	35
43	35	33	38	29	33	34	31	45	41	39	33	36	34	36	33	35	39	27	42	37	42	39	32	49	36	37	39
39	37	41	38	46	34	37	9	29	39	36	43	41	35	31	39	37	38	41	36	32	34	35	38	28	30	37	39
39	39	38	40	29	48	37	32	40	39	27	37	29	35	40	36	51	33	30	37	38	40	33	34	46	44	48	37
31	34	33	31	40	44	28	40	27	73	48	31	41	52	34	29	35	36	33	38	41	38	42	34	38	35	35	45
48	39	34	12	32	35	40	33	44	43	25	50	39	40	33	31	41	37	36	37	46	39	41	38	39	36	43	43
46	31	36	46	43	43	41	41	40	42	28	43	37	33	40	35	37	41	44	47	33	28	35	45	33	33	37	36
38	38	29	43	35	39	39	36	41	36	41	45	39	28	45	32	39	33	36	27	40	36	36	35	43	35	37	37
34	35	33	45	39	48	46	33	59	33	39	35	49	28	39	42	40	41	43	33	39	34	40	35	43	33	33	31
40	36	37	49	49	36	41	30	39	-3	35	37	33	40	36	40	35	30	43	61	37	37	36	20	43	39	39	42
47	37	42	45	38	39	27	39	43	45	36	45	41	32	44	36	37	35	42	34	35	50	40	33	38	30	35	31
35	34	44	50	33	35	44	39	39	37	39	40	47	32	40	38	40	35	34	37	34	36	38	42	39	45	36	38
36	40	40	43	49	36	32	39	36	42	34	39	43	38	39	41	42	41	42	40	39	34	31	45	-	-	-	-
311	354	280	200	144	136	154	212	275	303	307	261	167	19	-133	-235	-433	-545	-614	-	-	-	-	-	-	-	-	-
619	-563	-485	-358	-251	-149	-63	-11	0	-15	-25	-78	-102	-179	-289	-387	-584	-798	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1036	-1244	-1420	-1462	-1390	-1170	-833	-401	243	779	1616	2154	2930	3480	4019	4347	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4405	4163	3703	2886	1490	185	-1319	-2651	-3931	-5295	-5954	-6140	-5462	-3982	-2200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1251	1355	2324	5174	3629	4101	5024	6410	8608	11695	14707	17770	21139	23861	24699	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23522	20766	16507	11992	4856	-3386	-10202	-17355	-23264	-30305	-32257	-32768	-32492	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-27115	-18570	-11227	-2071	4141	6671	12066	14902	14795	13071	10476	8020	6379	4958	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3769	2925	2247	1707	1232	802	546	353	244	180	144	128	91	76	61	52	40	41	47	41	42	32	-	-	-	-	-	-
38	41	36	36	39	39	40	42	36	43	31	22	27	25	33	35	39	34	34	27	34	39	37	36	41	38	37	37
31	37	25	37	28	33	35	29	38	38	23	39	27	57	43	35	35	39	28	38	34	42	39	35	32	30	32	32
35	36	35	26	34	32	33	39	26	37	36	35	34	38	35	21	37	35	35	30	24	39	45	35	33	34	45	40
31	33	29	35	37	45	33	30	29	34	28	34	34	33	31	48	41	42	38	37	41	36	38	32	41	48	32	34
29	24	39	41	33	33	34	38	29	32	35	35	39	39	38	41	42	38	39	41	32	38	37	36	47	36	32	39
27	30	32	30	36	31	42	38	45	37	39	34	36	40	29	37	31	28	33	32	45	35	47	32	36	44	42	32
32	38	41	32	39	39	31	45	35	30	35	44	27	38	41	42	38	39	43	42	32	38	32	30	37	38	37	28
32	32	31	29	40	36	24	40	45	44	60	38	31	31	32	26	31	37	38	35	40	36	32	40	33	37	32	42
31	34	38	38	41	39	42	40	87	42	46	36	39	33	30	40	41	31	33	39	36	36	40	32	32	36	38	32
35	32	30	35	41	49	35	41	47	32	41	33	65	32	43	42	38	36	31	38	42	38	40	31	44	40	38	31
30	-11	41	31	38	49	34	35	39	36	37	41	34	37	37	30	39	30	35	32	39	35	36	45	37	37	38	31
38	30	37	27	38	34	41	43	41	39	39	32	38	29	33	38	45	35	36	39	36	34	39	34	34	34	37	31
42	78	39	33	34	40	37	36	31	31</																		

A continuación se procede a la obtención de la imagen correspondiente a la representación del perfil que se ha decidido tomar como referencia (normalmente aquél en el que se hayan observado mayor número de alteraciones). En nuestro caso se ha considerado el efectuado en segundo lugar (Figura 5)

Como puede observarse, la mayoría de información obtenida por el georadar carece de relevancia, pudiéndose realizar un acercamiento de la zona que nos interese a fin de acotar el área de estudio. (Figura 6)

Establecida la cota más interesante en función de la naturaleza de la búsqueda se procede a componer la totalidad de recorridos efectuados (en nuestro caso 5), pero trabajándose exclusivamente con los datos correspondientes al volumen en cuestión. Además es posible especificar qué gradación queremos resaltar (a fin de filtrar la naturaleza de los elementos detectados) alterando la paleta de colores asignada.

En nuestro ejemplo hemos decidido hacer visualizar en detalle las cotas 70 a 75 (Figura 7), la cota 75 a 80 (Figura 8), y la cota 80 a 85 (Figura 9).

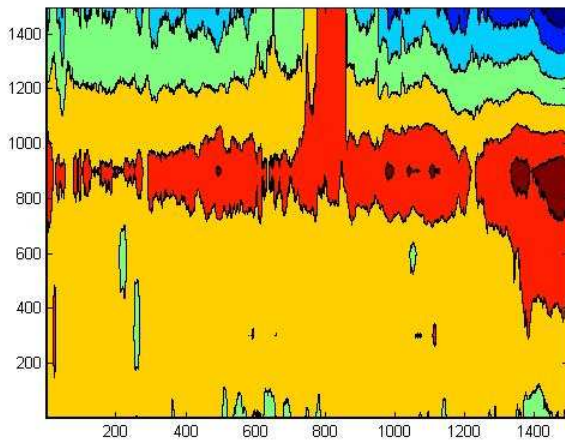


Figura 7. Cota 70 a 75 de los 5 recorridos efectuados

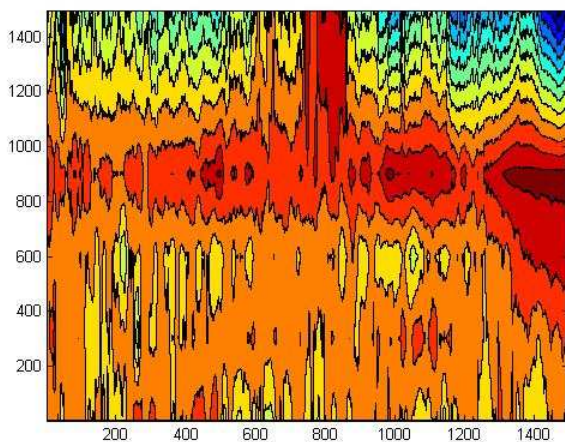


Figura 8. Cota 75 a 80 en planta de los 5 recorridos

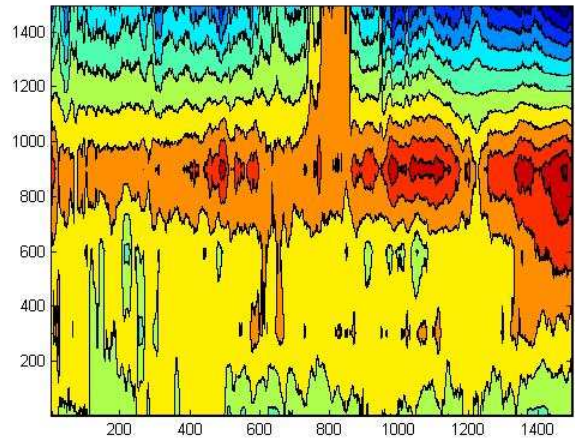


Figura 9. Cota 80 a 85

En este momento del estudio ya puede apreciarse de manera significativa la existencia de una superficie rectangular a la que se incorpora, por la zona lateral y a la misma cota de profundidad, una sección de menor anchura, pudiéndose afirmar que se trataría del decumanus de la ciudad y de uno de los cardus de la misma. Según el testigo de profundidad efectuado la profundidad a la que nos encontramos serían los 1,30 m aproximadamente.

La superposición y composición de las diferentes capas hace posible una visualización en 3D de estratos fértiles, pudiendo apreciarse un volumen bastante orientativo cara a la identificación de las zonas donde prestar especial interés a la hora de realizar la excavación.

Agradecimientos

Queremos manifestar nuestro agradecimiento a la Dirección del Conjunto Arqueológico de Baelo Claudia, en la ensenada de Bolonia en Tarifa (Cádiz), especialmente a D. Ángel Muñoz y a D. Iván García, así como a la Dirección Técnica Arqueológica del Cementerio de San Rafael en Málaga en las personas de D. Sebastián Fernández y D. Andrés Fernández, por las facilidades brindadas para la toma de muestras y los trabajos que estamos desarrollando de forma conjunta.

Bibliografía

LORENZO, Enrique y HERNÁNDEZ, M^a Carmen. “Prospección geofísica en yacimientos arqueológicos con georadar en España. Dos casos: Numancia y el Paular”. Física de la tierra, ISSN 0214-4557, N° 7, 1995 (Ejemplar dedicado a: Geofísica aplicada) , pags. 193-206.

GARCÍA VALIENTE, Mercedes et al. “Prospección geofísica aplicada a la Arqueología. Investigaciones en el circo romano de Mérida”, 1997 . Mapping, ISSN 1131-9100, N° 40, 1997 , pags. 16-20

LORENZO, E., 1996. “Prospección Geofísica de Alta Resolución mediante Georadar. Aplicación a Obras Civiles”. CEDEX

SANJOSÉ BLASCO, J.J. 2002. “Comparación de los métodos geofísicos de prospección eléctrica y magnética para la localización de muros de piedra en un yacimiento arqueológico”. Volver, especial abril 2002

VEGA PÉREZ, Gracia, “Radar de subsuelo. Evaluación para aplicaciones en arqueología y en patrimonio histórico-artístico”. Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica. Universidad Politécnica de Cataluña. Julio 2001

CAICEDO HORNAZA, Bernardo et al, "Aplicaciones del georadar de subsuelo en obras civiles", 2003. Universidad de los Andes, Revista de Ingeniería, N° 18, pags 32-40