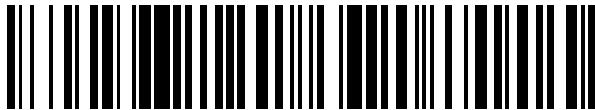


(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **3 029 652**

(21) Número de solicitud: 202331079

(51) Int. Cl.:

G01V 3/00 (2006.01)
G01V 3/02 (2006.01)
G01V 11/00 (2006.01)
G01N 27/00 (2006.01)

(12)

SOLICITUD DE PATENTE

A1

(22) Fecha de presentación:

22.12.2023

(43) Fecha de publicación de la solicitud:

24.06.2025

(71) Solicitantes:

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA (80.00%)
Ed. "La Milagrosa" Plaza Cronista Isidoro Valverde, S/N
30202 CARTAGENA (Murcia) ES y
UNIVERSIDAD DE ALMERÍA (20.00%)

(72) Inventor/es:

GARCÍA NIETO, María Cristina;
MARTÍNEZ PAGÁN, Pedro;
MARTÍNEZ SEGURA, Marcos Antonio;
NAVARRO BERNAL, Manuel y
VÁSCONEZ MAZA, Marco David

(74) Agente/Representante:

TEMIÑO CENICEROS, Ignacio

(54) Título: **MÉTODO Y SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN DE CIMENTACIONES DE EDIFICACIONES PROTEGIDAS**

(57) Resumen:

Método y sistema de caracterización de cimentaciones de edificaciones protegidas tipo torre, que comprende una primera fase donde se ejecuta un perfil continuo de tomografía de resistividad eléctrica (ERT) con un equipo configurado para ello; una segunda fase, donde los datos son procesados y se obtiene un modelo 3D de valores de resistividad eléctrica para el subsuelo; una tercera fase donde se realizan perfiles de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) pasivos no lineales en L con un equipo configurado para ello; una cuarta fase donde se realizan una pluralidad de perfiles de georadar con un equipo configurado para ello; una quinta fase donde se procesan los valores medidos de MASW y georadar, obteniendo los resultados de cada uno de los perfiles realizados; y una sexta fase donde se establece la correlación y se obtiene la caracterización de la cimentación.

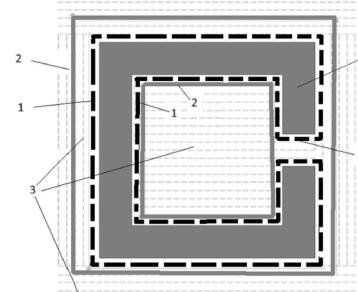


FIG.1

DESCRIPCIÓN

METODO Y SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN DE CIMENTACIONES DE EDIFICACIONES PROTEGIDAS

5

Campo técnico

La presente invención está referida a un nuevo método de caracterización en 3 dimensiones (3D) de la cimentación existente bajo edificaciones históricas, concretamente en torres declaradas como Bien de Interés Cultural (BIC), siendo el objetivo de la invención el determinar la geometría y el tipo de cimientos desconocidos en el subsuelo de esta tipología tan concreta de construcciones y edificaciones protegidas. El invento también se refiere al sistema que comprende una pluralidad de componentes que permiten llevar a cabo el citado método de caracterización.

15

La presente invención está encuadrada dentro del sector relacionado con la caracterización de suelos.

Estado de la técnica

20

Como es sabido, el número de Bienes Inmuebles inscritos como Bienes de Interés Cultural (BIC) a nivel nacional español ha ido progresivamente en aumento. Esto se aplica también a nivel global.

25 A modo de ejemplo, en España, en el último registro estadístico de 2021 se contabilizaron un total de 16.292 bienes inmuebles declarados BIC en España, de los cuales, 1.491 corresponden a torres en la categoría de monumentos, lo que supone una cifra significativa de inmuebles singulares que deben ser protegidos y conservados. Esto deriva en una creciente necesidad de intervención, mantenimiento y conservación preventiva, lo que a su vez implica como principal premisa el conocimiento riguroso de investigación y diagnóstico para establecer medidas adecuadas en estas edificaciones BIC. En el caso concreto de bienes inmuebles, éstos pueden ser declarados BIC en las categorías de Monumentos, Jardines, Conjuntos y Sitios Históricos, así como Zonas Arqueológicas, y entrando ya en el objeto de la invención, los edificios históricos tipo torre declarados BIC se suelen situar en la 30 categoría de Monumentos, siendo ésta la que mayor número de bienes inmuebles tiene.

35

En este sentido, cada edificación protegida como BIC cuenta con unos valores históricos, constructivos, arquitectónicos, estructurales, estéticos y simbólicos propios, que deben de conocerse para permitir una intervención adecuada sobre el bien inmueble, ya que su valor es único. Por ello, el conocimiento de la cimentación es base fundamental.

5

Actualmente, tanto a nivel español como comunitario, se dispone como requisito normativo que en los Monumentos declarados BIC no podrá realizarse obra interior o exterior que afecte al edificio, así como a su entorno, sin autorización expresa de los organismos competentes. Además, se prohíbe cualquier construcción que altere el carácter del inmueble o modifique su contemplación, estableciéndose, por tanto, medidas singulares de conservación y enriquecimiento. Por esta razón, hoy en día, los criterios de intervención sobre el patrimonio histórico son complejos, por ello, se debe de comenzar con una investigación rigurosa del bien inmueble, normalmente de carácter multidisciplinar, antes de llevar a cabo cualquier obra, con el objetivo de alcanzar un buen conocimiento del edificio que permita elaborar un diagnóstico certero y establecer propuestas adecuadas de intervención.

El procedimiento general utilizado actualmente para conocer el subsuelo bajo edificaciones históricas contempla el uso de diversas técnicas geofísicas no destructivas y en concreto, la aplicación de la tomografía de resistividad eléctrica (ERT). Los perfiles de ERT se disponen de forma lineal en 2D en las inmediaciones de este tipo de edificaciones, para alcanzar profundidades de investigación adecuadas debido al limitado espacio interior disponible, por lo que no se encuentran situados directamente sobre la cimentación de la torre, caracterizando, por lo tanto, el entorno de la misma, pero no la propia cimentación. Por ello, en muchos casos, se suelen tomar muestras de suelo mediante la ejecución de sondeos con extracción de testigo continuo para conocer las características de la cimentación y el subsuelo, generando daños en el entorno protegido con este tipo de técnicas destructivas.

En esta línea, se conocen divulgaciones que buscan la obtención de modelos 3D para la caracterización de suelos en base a dos tipos de metodologías. Por un lado, está el que se disponga de forma paralela diversos perfiles lineales 2D, que posteriormente serán unidos a través del software para formar el modelo 3D; y mediante un perfil continuo con una distribución no lineal, obteniendo un modelo 3D.

Por ejemplo, se conoce lo divulgado en el documento “*Integrated Ground Penetrating Radar, Electrical Resistivity Tomography and Multichannel Analysis of Surface Waves for detecting near-surface caverns at Duqm area, Sultanate of Oman*” de A.M.E Mohamed, I, et al (07-

2019), donde se describe la obtención de modelos 3D a partir de la realización de perfiles longitudinales y paralelos entre sí, donde el equipo empleado mide sólo entre los electrodos de cada perfil 2D, y se obtiene un bloque 3D a partir de interpolaciones entre perfiles, no con 5 medidas reales entre ellos.

Esto tiene un problema esencial en el caso de las cimentaciones en edificaciones BIC tipo torre, que es que con esa metodología no es posible obtener datos fiables de la zona existente bajo los muros de carga del edificio BIC.

10

Por tanto, se entiende que ha de buscarse una solución a la obtención de un método de caracterización del cimiento que corresponde a edificaciones históricas tipo torre con el máximo grado de protección, cuya cimentación es desconocida, y donde por lo general estas cimentaciones tienen una geometría particular, en los que es preciso conocer las 15 características de la cimentación para establecer medidas adecuadas de intervención, mantenimiento y conservación.

En estas construcciones, dado el limitado espacio interior para colocar perfiles lineales 2D que puedan llegar a profundidades de investigación adecuadas, y sabiendo que este tipo de 20 medición tampoco lograría conocer las características del subsuelo bajo los muros de la torre, la solución que se propone al problema descrito es la disposición de un perfil continuo no lineal de tomografía de resistividad eléctrica a lo largo del perímetro exterior e interior de la edificación, y la utilización de técnicas como el análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) y el georadar para contrastar resultados.

25

Se vuelve a indicar que las metodologías conocidas se basan en la distribución de perfiles longitudinales 2D dispuestos de forma paralela para la obtención de un bloque 3D. Por tanto, si se coloca un perfil 2D en la parte exterior del muro y otro paralelo a este en la parte interior del mismo, la interpolación realizada entre ellos no tendrá en cuenta la parte inferior del muro, 30 y por consiguiente, su cimentación.

Para la obtención de un modelo 3D a partir de perfiles 2D, se requiere que la separación entre perfiles 2D sea el doble de la distancia existente entre los electrodos del perfil 2D. Esto conlleva la realización de un número de perfiles longitudinales 2D en función de las 35 dimensiones de la torre, lo que supone la necesidad de atravesar los muros de la misma.

Por otro lado, se hace necesario el disponer de suficiente espacio para albergar la longitud mínima del perfil en superficie, ya que se estima que la profundidad de estudio alcanzada está entorno al 20% de la longitud del perfil 2D lineal en superficie. Esto es inviable en torres BIC situadas en centros urbanos o lugares protegidos, además de por la propia geometría
5 del edificio debido al limitado espacio interior.

Se conoce también lo divulgado en el documento “*Non-destructive DC resistivity surveying using flat-base electrodes*” o el documento “*Enhacing Electrical Contact with a Commercial Polymer for Electrical Resistivity Tomography on Archaeological sites: A Case Study*”, de M.D.
10 Vascónez-Maza et al (07-2020) donde se describe un sistema para la ejecución de una tomografía de resistividad eléctrica, lo cual puede ser utilizado en excavaciones arqueológicas, pero por si esta divulgación ni sugiere ni explica que esta tecnología permita la caracterización de la cimentación existente bajo una edificación, y menos que esta pueda ser utilizada para edificación BIC con los problemas y limitaciones previamente indicados, y
15 donde, en todo caso, esta tecnología solo podría ser implementada, junto con el antecedente previamente indicado, para dar solución parcial al problema objeto de la presente invención. De hecho, lo que el documento justifica es la mejora del registro de datos gracias a la disposición de un gel conductor.

20 Teniendo en cuenta estos aspectos, la presente invención establece una metodología de caracterización de cimentaciones de torres catalogadas como BIC, que es sabido que tienen una cimentación estructural singular y la información que se dispone suele ser inexistente o procedente de documentos históricos no confirmados, y por tanto, se requiere un conocimiento preciso de la cimentación para establecer las correspondientes medidas de
25 protección y/o intervención que sean necesarias, algo que con las tecnologías conocidas es inviable y no posible de ser realizado.

Para ello, la invención se propone, por un lado, la disposición de un perfil continuo no lineal de tomografía de resistividad eléctrica, a lo largo del perímetro exterior e interior de
30 edificaciones tipo torre para la obtención de un modelo 3D de la cimentación, seguidamente, la utilización del georadar y del análisis multicanal de ondas superficiales, y seguidamente, se corrobora el modelo 3D real de la cimentación obtenido con la técnica de tomografía de resistividad eléctrica. Esta metodología, debido a la disposición del perfil continuo no lineal a lo largo de todo el contorno de la edificación (interior y exterior), permite obtener un modelo
35 3D real del bloque de toda la cimentación del inmueble, incluida la zona existente bajo sus muros de carga y, además, permite que ese modelo sea corroborado con datos adicionales.

La obtención de los datos y la interpretación de estos resultados permite determinar de forma fiable las dimensiones y geometría de la cimentación, así como la posible existencia de cavidades, favoreciendo el conocimiento del subsuelo y de la cimentación en este tipo de construcciones.

5

- Habida cuenta de las tecnologías conocidas en el estado de la técnica y de los problemas arriba indicados que no están resueltos o son resueltos de una manera no satisfactoria, la presente invención presenta un método que, a diferencia de cualquier otro conocido en el estado de la técnica, permite la caracterización 3D de la cimentación existente bajo edificaciones históricas, concretamente en torres declaradas como Bien de Interés Cultural (BIC).

Explicación del invento

- 15 La presente invención consiste en un método de determinación de la cimentación de edificaciones históricas tipo torre declaradas BIC, que es sabido que son desconocidas, tanto en su geometría como estructura, para establecer futuros estudios de intervención, mantenimiento y conservación.
- 20 Se realizará a través de la implementación de un 3D real mediante la técnica de tomografía de resistividad eléctrica, ejecutado directamente sobre la edificación, donde no se pueden realizar perfiles paralelos para conseguir una profundidad de investigación adecuada por el limitado espacio, con placas de aluminio para no dañar el edificio protegido. Con ello, se aumenta la superficie y profundidad de estudio, se reduce el tiempo de aplicación y se elimina
- 25 la necesidad de ejecutar técnicas destructivas. Además, seguidamente, la utilización del georadar y del análisis multicanal de ondas superficiales, permiten corroborar el modelo 3D real de la cimentación obtenido con la técnica de tomografía de resistividad eléctrica.

El método objeto de la presente invención comprende los siguientes pasos o fases:

30

Una primera fase, en la que se ejecuta un perfil continuo de tomografía de resistividad eléctrica a lo largo del perímetro externo e interno de la torre, con el objetivo de conseguir un 3D real de valores eléctricos del subsuelo del edificio, con profundidades variables en función de la configuración utilizada y la distancia entre los electrodos.

35

En este sentido, para el desarrollo del método se requiere de un sistema, que para la

realización del ERT comprende un equipo con unas placas, unos muelles, una pluralidad de electrodos y gel sobre el pavimento. En esta línea, para no dañar el edificio histórico protegido, los electrodos se colocarán sobre unas placas diseñadas y fabricadas en aluminio, de dimensiones 100x100x10 mm, con un muelle de acero para sujeción del electrodo sobre la placa. La sujeción del muelle a la placa se realiza en los extremos del muelle a través de dos vainas soldadas en dos caras laterales opuestas de la placa. Estas vainas son de 20 mm de diámetro y 1,50 mm de espesor, también de aluminio. Además, para mejorar el contacto eléctrico entre el suelo del edificio y el electrodo, se colocará un gel conductor dispuesto en la zona situada entre el suelo del edificio y la placa, y entre la placa y el electrodo. Este gel conductor a base de carbómero, es utilizado habitualmente en la depilación láser y en el análisis por ultrasonidos, no deja mancha y se elimina con facilidad, por lo que es apto para su uso sobre pavimentos protegidos, que es un equipo conocido en el estado de la técnica, y concretamente en el documento previamente señalado de (Vásconez-Maza et al., 2020).

15

Los electrodos situados en el perímetro exterior e interior de la Torre tendrán una separación variable entre 0,5 y 2 metros aproximadamente, dependiendo de las dimensiones del edificio y del cable del equipo, cubriendo la mayor superficie posible para detectar el tipo de cimentación y su geometría, con una configuración (forma en la que el equipo realiza las medidas) dipolo-dipolo para garantizar en superficie una buena resolución y cobertura de datos, y con una configuración polo-dipolo para alcanzar mayores profundidades. El equipo de medida estará compuesto por un resistivímetro con cables multiconductores conectados a los electrodos de acero inoxidable. El perfil continuo debe estar distribuido a lo largo del perímetro exterior e interior del edificio, para conseguir la obtención de un 3D real de valores de resistividad eléctrica del subsuelo, y lograr detectar y estimar el tipo de cimentación desconocida y su geometría.

Cabe recalcar que, para el escenario en el que el perímetro exterior de la torre no estuviese pavimentado, los electrodos de acero inoxidable se conectarán a varillas metálicas de acero inoxidable clavadas en el terreno para disminuir la resistencia eléctrica de contacto y, transmitir de forma adecuada la corriente eléctrica al subsuelo.

En una segunda fase, los datos registrados son procesados, llevándose a cabo la filtración, corrección topográfica y eliminación de datos erróneos y obteniendo un modelo 3D de valores de resistividad eléctrica para el subsuelo de la torre con profundidades de investigación adecuadas, todo ello procesado por un programa informático. Asimismo, se

logra obtener una primera aproximación de las dimensiones de la cimentación, localizando los cambios de resistividad eléctrica del material que pueden definirla, así como la caracterización de posibles cavidades. Estos resultados de ERT serán contrastados con las medidas de MASW y georadar.

5

En una tercera fase, se realizan perfiles de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales pasivos no lineales en L adaptados a la configuración de la torre y, situándose éstos dentro de la superficie estudiada con el ERT. Los perfiles se ejecutarán en el perímetro interior y exterior del edificio (2), concretamente cada perfil en L se dispondrá en cada una de las esquinas de la torre, tanto interior como exterior. El equipo para la realización de perfiles MASW pasivos no lineales en L comprende la utilización de una pluralidad de geófonos con una separación variable entre sí y un sismógrafo. El objetivo es obtener en cada una de las esquinas exteriores e interiores los valores de velocidad de cizalla (V_s) y con ello, corroborar los datos obtenidos con las medidas de ERT.

10

Una cuarta fase consiste en la realización de perfiles de georadar en toda la superficie accesible interior y a lo largo del perímetro exterior, cubriendo una superficie de 2 m desde la fachada del edificio (3), coincidentes con la superficie estudiada con el ERT y el MASW. Se utilizarán antenas de alta y baja frecuencia, con el objetivo de alcanzar distintas profundidades de investigación.

15

Una quinta fase corresponde al procesado, por medio de programas informáticos, de las medidas de MASW y georadar, obteniendo los resultados de cada uno de los perfiles realizados.

20

Finalmente, en una sexta fase, se establece la correlación, mediante un programa informático, de los resultados obtenidos con cada una de las técnicas geofísicas, permitiendo que el 3D real del ERT sea doblemente verificado para una correcta interpretación, logrando caracterizar la cimentación, y donde se consigue identificar el tipo de cimentación y su geometría, mejorando el conocimiento del subsuelo del edificio para la adecuada realización de futuras intervenciones. Además, permite identificar la presencia de cavidades, por ejemplo, caracterizadas por valores muy altos de resistividad eléctrica, verificadas siempre con el apoyo de los resultados de MASW y georadar.

25

Se puede, por tanto, indicar que el sistema comprende:

- un equipo de ejecución de un perfil continuo de tomografía de resistividad eléctrica a

- lo largo del perímetro externo e interno de la torre,
- un programa informático ejecutado en un módulo computador, que procesa los datos obtenidos por el equipo de ejecución de un perfil continuo de tomografía de resistividad eléctrica, llevándose a cabo la filtración, corrección topográfica y eliminación de datos erróneos y obteniendo un modelo 3D de valores de resistividad eléctrica para el subsuelo;
 - un equipo de ejecución de perfiles de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales pasivos no lineales en L adaptados a la configuración de la torre y, situándose estos perfiles dentro de la superficie estudiada con el equipo de ERT;
 - un equipo de ejecución de perfiles de georadar en toda la superficie accesible interior y a lo largo del perímetro exterior;
 - unos programas informáticos ejecutados en un módulo computador, que procesa los datos obtenidos por el equipo de ejecución de perfiles de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales y el equipo de ejecución de perfiles de georadar, obteniendo los resultados de cada uno de los perfiles realizados;
 - un programa informático ejecutado en un módulo computador que establece la correlación de los resultados obtenidos con cada una de las técnicas geofísicas, permitiendo que el 3D real del ERT sea doblemente verificado por los perfiles MASW y del georadar.

20

En una posible realización del invento, los programas informáticos son procesados en único módulo computador, es decir, que ese único módulo computador es común para el procesado de los datos con cada una de las técnicas.

25 El solicitante no conoce una metodología tan eficaz como la previamente descrita.

Se ha de tener en cuenta que, a lo largo de la descripción y las reivindicaciones, el término “comprende” y sus variantes no pretenden excluir otras características técnicas o elementos adicionales.

30

Breve descripción de las figuras del invento

La Figura 1 muestra una representación esquemática de la disposición de los diferentes equipos del invento, donde se muestra la disposición

35 del equipo de ejecución de un perfil continuo de ERT (1) a lo largo del perímetro externo e interno de los muros de una torre “tipo” (T) con el objetivo de conseguir un 3D real

de los valores eléctricos de la cimentación mediante el procesado de los datos registrados por medio de un primer programa informático

5 del equipo de ejecución de perfiles MASW (2) pasivos no lineales en L adaptados a la configuración de la torre (T), realizando estos perfiles dentro de la zona estudiada con el equipo de ERT; y la disposición del equipo de ejecución de perfiles de georadar (3) en toda la superficie accesible interior y a lo largo del perímetro exterior de la torre (T); y donde los datos de ambos equipos son procesados en sus respectivos programas informáticos obteniendo los resultados de cada uno de los perfiles realizados; y

10 donde hay un cuarto programa informático que establece la correlación de los resultados obtenidos con cada una de las técnicas geofísicas, permitiendo que el 3D real del ERT sea doblemente verificado por los perfiles MASW y del georadar

15 La Figura 2 muestra una vista en perspectiva de un electrodo del equipo de ejecución de un perfil continuo de ERT, donde se puede observar una placa con un muelle de acero para sujeción de un electrodo sobre la placa, donde la sujeción del muelle a la placa se realiza en los extremos del muelle a través de dos vainas soldadas en dos caras laterales opuestas de la placa, y donde se establece la disposición del gel conductor entre el pavimento y la placa, y entre la placa y el electrodo.

20 La Figura 3 muestra una vista aérea acorde a la Fig.2.

La Figura 4 muestra una vista en alzado frontal acorde a la Fig.2

25 La Figura 5 muestra una vista en alzado lateral acorde a la Fig.2

30 La Figura 6 muestra la correlación de valores en un ejemplo de (A) valores obtenidos con el equipo ERT mediante un modelo 3D real; (B) valores de Vs obtenidos con el equipo MASW; radargrama obtenido con el equipo de georadar, concretamente un radargrama obtenido con una antena de 250 MHz (C1) y un radargrama obtenido con una antena de 500 MHz (C2).

Descripción de un modo de realización del invento.

En la realización de un ejemplo práctico, el edificio histórico tipo torre catalogado BIC 35 seleccionado y objeto de estudio, es la torre de la Catedral de Murcia. Como es sabido, esta torre se encuentra ubicada en el centro urbano e histórico de la ciudad, con edificaciones

cercanas y con limitaciones a la hora de tener espacio suficiente para poder realizar técnicas conocidas, con lo que este invento permite optimizar la colocación de perfiles continuos de ERT (1) con referencia a las zonas accesibles y al estado del pavimento.

- 5 La primera fase consiste en el registro de medidas con ERT. Para ello se establece la disposición de una pluralidad de electrodos (8) interconectados por cables (10) multiconductores. En las Fig.2-5 se puede observar una realización preferente de uno de ellos, donde la placa de sujeción de electrodos para la medición con ERT está compuesta por una placa (4) de aluminio cuadrada de 100x100x10 mm, con muelle (5) de acero para
- 10 sujeción del electrodo en la placa. La sujeción del muelle a la placa se realiza en los extremos del muelle a través de dos vainas (6) soldadas en dos caras laterales opuestas de la placa, de 20 mm de diámetro y 1,50 mm de espesor, también en aluminio. Para mejorar la conductividad de la corriente eléctrica, se colocará un gel conductor (7) a base de carbómero en la zona situada entre la placa y el electrodo (8), y entre el suelo del edificio (9) y la placa.
- 15 En este sentido, se realizó un perfil continuo de tomografía eléctrica (1) no lineal a lo largo del perímetro interno y externo de la torre, con una longitud total de 88 m. Para la primera fase se utilizó un sistema multielectrodo de resistividad de corriente continua. Este sistema está constituido por un resistivímetro de alta precisión, una unidad central de control de electrodos, ocho cables de 7 electrodos pasivos, un generador de corriente, conectores de
- 20 cable y un controlador de Tablet. Los ocho cables permitieron instalar un total de 56 electrodos pasivos a lo largo del perímetro exterior e interior de la torre, siguiendo una disposición continua. La separación entre electrodos fue de 2 m, lo que supuso un área total de 484 m² (cuadrado de 22 x 22 m). Cabe destacar que este sistema multielectrodo de resistividad requiere la conexión al equipo de las terminaciones de los cables junto al
- 25 electrodo número 28 y 29.

A continuación, toda la disposición 3D de una unidad de control de electrodos se conectó al resistivímetro. Esta unidad central controlada por ordenador proporcionó mediciones eléctricas del subsuelo, permitiendo generar un modelo 3D basado en la resistividad eléctrica del subsuelo de la torre.

El instrumento se ha utilizado en el modelo de resistividad para la inyección de corriente 1,2 s con el rango de 0,1 a 450,52 mA intervalos entre cada dos puntos y la medición de la tensión con el intervalo de 0,01 a 945,35 mV entre cada dos puntos. Se utilizó un total de 56 electrodos en un diseño 3D con las configuraciones dipolo-dipolo y polo-dipolo. Para la primera de ellas, el instrumento calculó y almacenó un total de 924 valores de resistividad

aparente con el rango de intervalos de 1 a 9760 $\Omega\cdot\text{m}$. Y para la segunda, se calculó y almacenó un total de 640 valores de resistividad aparente con el rango de intervalos de 1 a 9800 $\Omega\cdot\text{m}$.

- 5 La calidad de los datos de resistividad del modelo 3D es crucial para inferir de ellos la estructura del subsuelo del edificio. Como se ha señalado anteriormente, en este estudio, la solución adoptada para llevar a cabo las mediciones de ERT fue el empleo de dos configuraciones diferentes: dipolo-dipolo y polo-dipolo.
 - 10 Por tanto, para estos perfiles de tomografía eléctrica, se utilizan cables multiconductores conectados a electrodos de acero inoxidable, colocados sobre la invención de las placas de aluminio con muelle de acero sobre el gel conductor dispuesto en la superficie accesible del suelo del edificio; donde los electrodos pueden disponerse sobre placas de aluminio con muelle de acero para sujeción del electrodo en la placa para no dañar el elemento protegido,
 - 15 por otro lado, si el perímetro exterior no estuviese pavimentado, los electrodos de acero inoxidable se conectarán a varillas metálicas de acero inoxidable clavadas en el terreno; donde se puede implementar el uso de la placa de aluminio con muelle de acero para sujeción de electrodo en la placa y dos vainas soldadas en dos caras laterales opuestas de la placa para sujeción de los extremos del muelle a la misma, permitiendo realizar el registro
 - 20 de datos directamente sobre el bien inmueble sin dañar el edificio histórico protegido, ya que no es preciso realizar perforaciones para ejecutar las medidas; donde el uso de un gel conductor a base de material carbómero no deja mancha y se elimina con facilidad, colocado en la zona situada entre la placa y el electrodo, y entre el suelo del edificio y la placa, con el objetivo de mejorar el contacto eléctrico entre el suelo del inmueble protegido y el electrodo;
 - 25 debiendo tenerse en cuenta que el perfil continuo debe estar distribuido a lo largo del perímetro exterior e interior del edificio, para conseguir la obtención de un 3D real de valores de resistividad eléctrica del subsuelo, y lograr obtener una primera aproximación de las dimensiones de la cimentación, localizando los cambios de resistividad eléctrica del material que pueden definirla.
- 30 El segundo paso, tras la toma de datos, es su procesado, donde hay una filtración, corrección topográfica, eliminación de datos erróneos, inversión, que permite obtener un modelo 3D de 22 x 22 m^2 de superficie y 17,7 m de profundidad, siendo una primera aproximación sobre el estado de la cimentación, especialmente útil en torres sin documentación existente del
- 35 subsuelo que requieren intervenciones inmediatas.

Una vez realizado el 3D real con ERT y obtenidos los resultados, se llevaron a cabo los perfiles de MASW y georadar en la superficie estudiada con el ERT.

Para la tercera fase, las medidas de MASW, se realizaron 8 perfiles 1D pasivos no lineales

5 en L adaptados a las singularidades de la torre, combinando la utilización de geófonos de 4.5 Hz y 1 Hz con una separación entre sí de 1 m en el exterior y de 0,5 m en el interior. El equipo utilizado ha sido un sismógrafo con 24 geófonos de los cuales, 17 geófonos han sido de 4.5 Hz y 7 geófonos han sido de 1 Hz.

10 En la cuarta fase, se realizaron un total de 35 perfiles de georadar y una pluralidad de antenas de 250 y 500 MHz, con el objetivo de alcanzar las profundidades de investigación establecidas. La toma de medidas se realizó en toda la superficie accesible interior del edificio con ambas antenas y posteriormente, a lo largo del perímetro exterior, hasta una distancia de la fachada de aproximadamente 2 metros.

15

En una quinta fase se procesan, por medio de programas informáticos, las medidas de MASW y georadar, obteniendo los resultados de cada uno de los perfiles realizados.

Y en una sexta fase, se establece la correlación, mediante un programa informático, de los

20 resultados obtenidos con cada una de las técnicas geofísicas, permitiendo que el 3D real del ERT sea doblemente verificado para una correcta interpretación, logrando caracterizar la cimentación, y donde se consigue identificar el tipo de cimentación y su geometría, mejorando el conocimiento del subsuelo del edificio para la adecuada realización de futuras intervenciones, y permitiendo, por ejemplo, identificar la presencia de cavidades, 25 caracterizadas por valores muy altos de resistividad eléctrica, y verificadas siempre con el apoyo de los resultados de MASW y georadar.

A continuación, y tras la aplicación de los anteriores pasos, se muestran los resultados obtenidos del ejemplo práctico de la torre de la Catedral de Murcia en la Fig.6. Con la

30 aplicación de la presente invención, se determinan dos zonas notablemente diferenciadas, una zona situada en los primeros 5-6 m de profundidad con valores de resistividad eléctrica por encima de 100 Ohm, y otra situada a partir de los 5-6 m de profundidad con valores bajos de resistividad eléctrica (< 100 Ohm), marcando el límite entre la cimentación y el sustrato. Con el objetivo de verificar los resultados del ERT obtenidos, se llevaron a cabo la tercera, 35 cuarta y quinta fase, obteniéndose los valores de Vs y los radargramas. Los resultados muestran aumentos significativos de valores de Vs entre los 5-6 m de profundidad y, además,

se observan importantes cambios de reflexiones en los radargramas a esas profundidades, es decir, cambios en las características del material. Todo ello se puede relacionar con la presencia de una losa de cimentación en esos primeros 5-6 m de profundidad. Los resultados se muestran en la citada Fig.6.

5

Asimismo, se encuentran zonas altamente resistivas con valores mayores de 5000 Ohm, coincidentes con la disminución significativa de los valores de Vs a lo largo de una longitud de 1 m aproximadamente. En los radargramas se han podido observar en esas mismas zonas, reflexiones importantes compatibles con huecos. Así, con la antena de 500 MHz se

10 obtuvieron datos a menor profundidad, pero con mayor resolución, lo que ayudó a constatar la existencia de hipérbolas compatibles con huecos que podrían tener en torno a los 0,80 m de altura aproximadamente. Todo ello, se puede relacionar con la presencia de cavidades en el subsuelo de esta edificación tal como se observa en la citada Figura.

15 Los resultados obtenidos muestran que la invención descrita permite caracterizar la cimentación, así como su geometría en torres BIC de forma rápida y versátil. La presente invención supone un gran avance en la determinación del tipo y la forma de la cimentación bajo este tipo de edificaciones protegidas, con técnicas no invasivas, permitiendo alcanzar profundidades de investigación adecuadas en espacios reducidos, así como la
20 determinación de posibles cavidades. Se minimiza, por tanto, la incertidumbre acerca de sus cimientos, ya que se obtiene información fiable del estado del subsuelo en la zona objeto de estudio para poder definir con criterios científicos, futuras actuaciones de mantenimiento y conservación del patrimonio protegido, ahorrando tiempo y costes.

25

REIVINDICACIONES

1.- Método de caracterización de cimentaciones de edificaciones protegidas tipo torre, que comprende

5 una primera fase donde se ejecutan unos perfiles continuos de tomografía de resistividad eléctrica (ERT) a lo largo del perímetro externo e interno de la edificación registrándose datos para obtener una imagen 3D real de valores eléctricos del subsuelo del edificio;

10 una segunda fase, donde los datos registrados son procesados, llevándose a cabo la filtración, corrección topográfica y eliminación de datos erróneos y obteniendo un modelo 3D de valores de resistividad eléctrica para el subsuelo, que es una aproximación de la caracterización de la cimentación a partir de la localización de los cambios de resistividad eléctrica del material;

15 una tercera fase donde se realizan perfiles de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) pasivos no lineales en L adaptados a la configuración de la torre y, siendo ejecutados los perfiles en el perímetro interior y exterior del edificio dentro de la superficie estudiada con el ERT, obteniendo en cada una de las esquinas exteriores e interiores los valores de velocidad de cizalla-Vs;

20 una cuarta fase donde se realizan una pluralidad de perfiles de georadar en toda la superficie accesible interior y a lo largo del perímetro exterior, cubriendo una superficie de hasta 2 m desde la fachada del edificio, y estableciéndose estos perfiles en el área de estudio donde se han realizado los perfiles de ERT y MASW, obteniéndose valores a distintas profundidades de la cimentación;

25 una quinta fase donde se procesan los valores medidos de MASW y georadar, obteniendo los resultados de cada uno de los perfiles realizados; y

30 una sexta fase donde se establece la correlación de los resultados obtenidos con cada una de las técnicas geofísicas, permitiendo que el 3D real del ERT sea doblemente verificado con los perfiles de MASW y de georadar, obteniéndose la caracterización de la cimentación con la identificación del tipo de cimentación y su geometría e identificando la presencia de cavidades en el caso de existir.

2.- Un método, según la reivindicación 1, donde la primera fase se ejecuta con un equipo de ejecución mediante la disposición de un perfil continuo de tomografía de resistividad eléctrica ERT que comprende una pluralidad de electrodos distribuidos a lo largo del perímetro externo e interno de la torre, siendo empleadas configuraciones del tipo dipolo-dipolo y polo-dipolo.

- 3.- Un método, según la reivindicación 1, donde en la segunda fase, el procesado de datos se ejecuta con un programa informático.
- 4.- Un método, según la reivindicación 1, donde en la quinta fase, el procesado de los perfiles de MASW y georadar se ejecutan con un programa informático.
- 5 5.- Un método, según la reivindicación 1, donde en la sexta fase, la correlación se ejecuta con un programa informático.
- 10 6.- Sistema de caracterización de cimentaciones de edificaciones protegidas tipo torre, con el que se lleva a cabo un método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que se caracteriza porque comprende
un equipo de ejecución de perfiles continuos de ERT (1) a lo largo del perímetro externo e interno de los muros de una torre (T) con el objetivo de conseguir un 3D real de los
15 valores eléctricos de la cimentación procesado por un primer programa informático;
un equipo de ejecución de perfiles MASW (2) pasivos no lineales en L adaptados a la configuración de la torre (T), haciendo coincidir estos dentro de la superficie estudiada con el equipo del ERT; y donde los datos son procesados en un segundo programa informático obteniendo los resultados de cada uno de los perfiles realizados
- 20 y un equipo de ejecución de perfiles de georadar (3) dispuesto en toda la superficie accesible interior y a lo largo del perímetro exterior de la torre (T); y donde los datos son procesados en un tercer programa informático obteniendo los resultados de cada uno de los perfiles realizados
un cuarto programa informático que establece la correlación de los resultados
25 obtenidos con cada una de las técnicas geofísicas, permitiendo que el 3D real del ERT sea doblemente verificado por los perfiles MASW y del georadar;
y al menos un módulo computador donde se ejecutan los programas informáticos.
- 7.- Un sistema, según la reivindicación 6, donde el equipo de ejecución de perfiles continuos de ERT (1) comprende una pluralidad de electrodos (8) conectados a través de cables (10) multiconductores, situados sobre placa de aluminio (4), con muelle (5) de acero para sujeción del electrodo en la placa, donde la sujeción del muelle a la placa se realiza en los extremos del muelle a través de dos vainas (6) soldadas en dos caras laterales opuestas de la placa.
- 35 8.- Un sistema, según la reivindicación 7, donde se dispone un gel conductor (7) en la zona situada entre la placa (4) y el electrodo (8).

- 9.- Un sistema, según la reivindicación 7, donde se dispone un gel conductor (7) en la zona situada entre el suelo del edificio (9) y la placa (4).
- 5 10.- Un sistema, según las reivindicaciones 8 y 9, donde el gel conductor (7) es a base de material carbómero.
- 11.- Un sistema, según la reivindicación 7, donde la unidad central de control de electrodos está conectada a un resistivímetro.
- 10 12.- Un sistema, según la reivindicación 7, donde la unidad central de control de electrodos está conectada a un generador de corriente.
- 13.- Un sistema, según la reivindicación 6, donde los programas informáticos son procesados
- 15 en único módulo computador.
- 14.- Un sistema, según la reivindicación 6, donde el equipo de ejecución de perfiles MASW comprende al menos un sismógrafo con una pluralidad de geófonos de entre 4.5 Hz y 1 Hz.
- 20 15.- Un sistema, según la reivindicación 6, donde el equipo de ejecución de perfiles de georadar (3) comprende una pluralidad de antenas de alta y baja frecuencia.

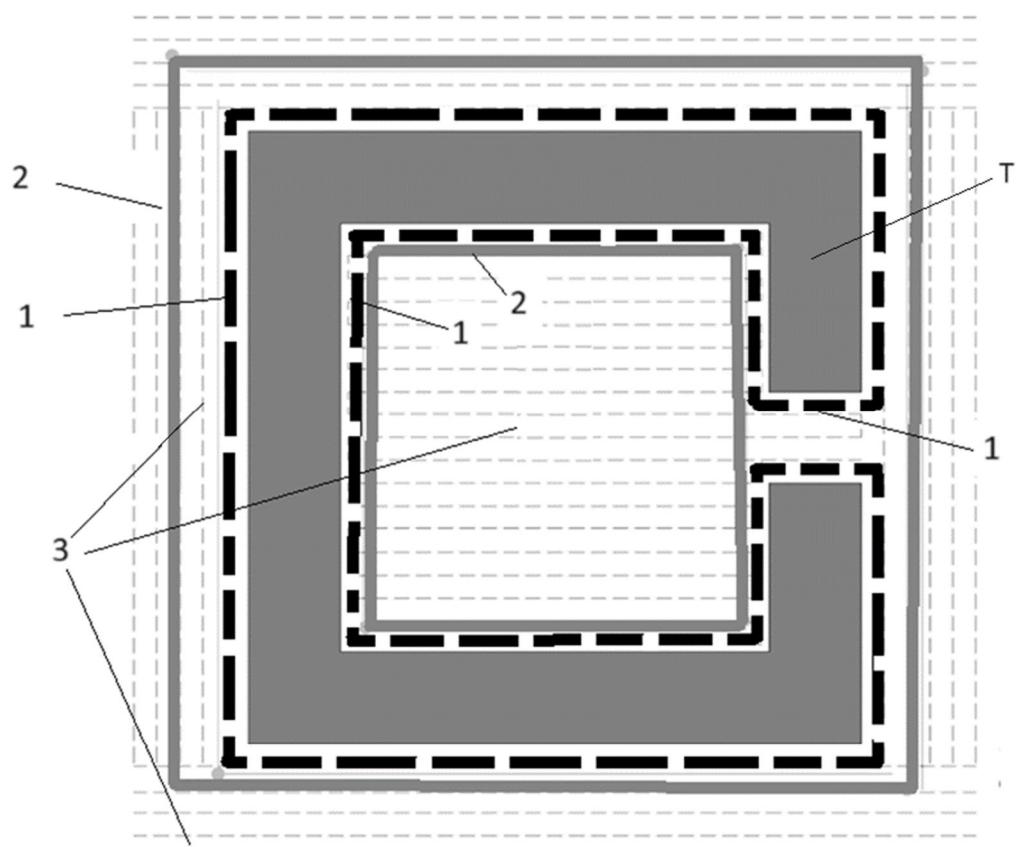


FIG.1

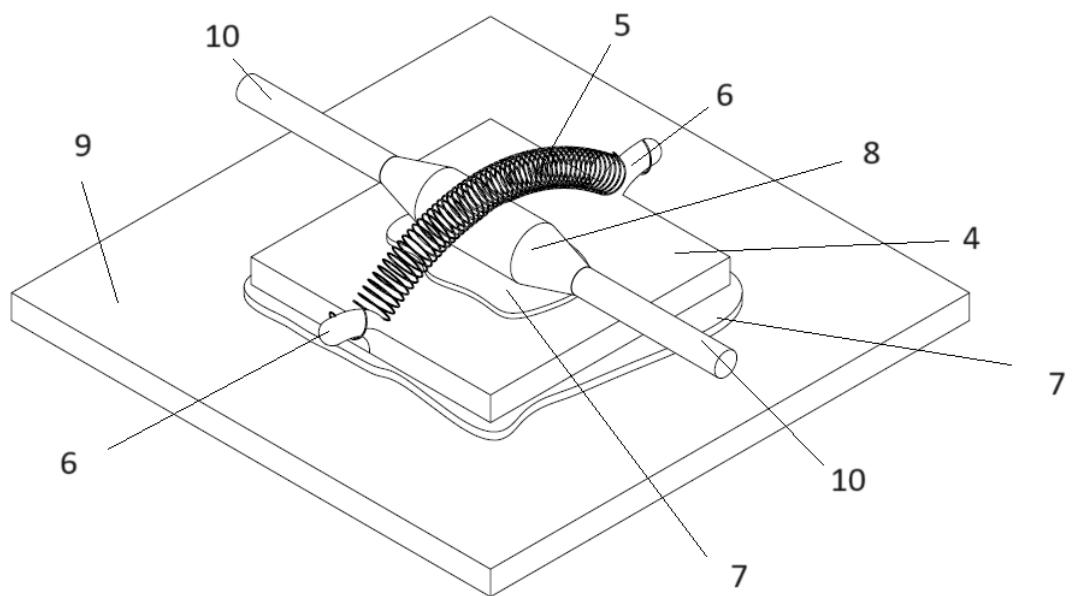


FIG.2

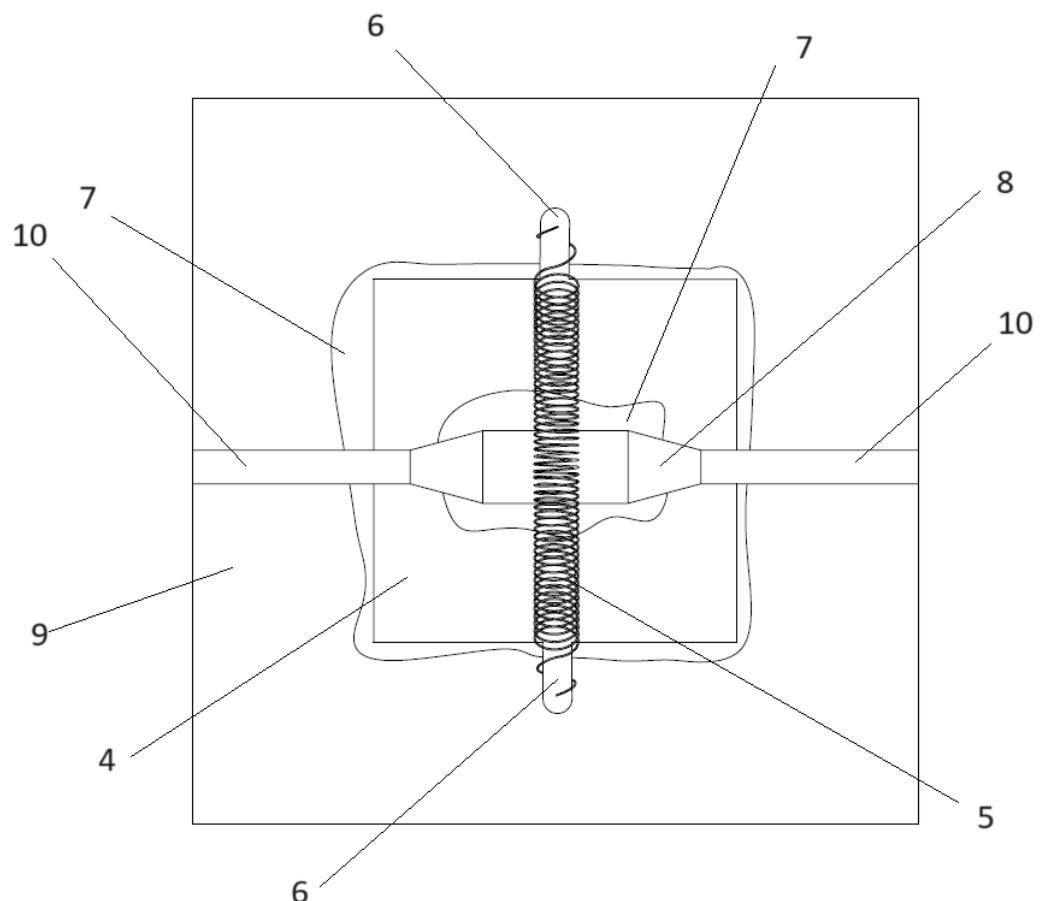


FIG.3

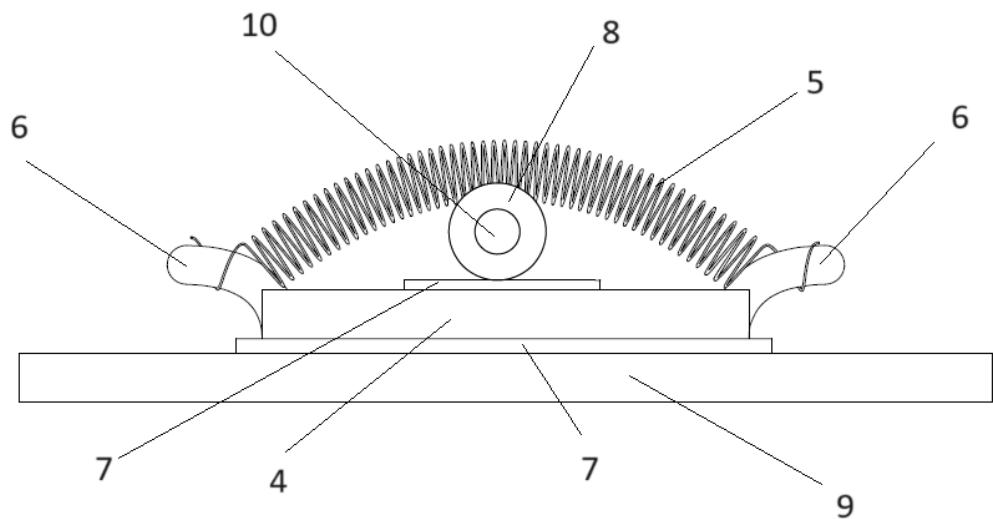


FIG.4

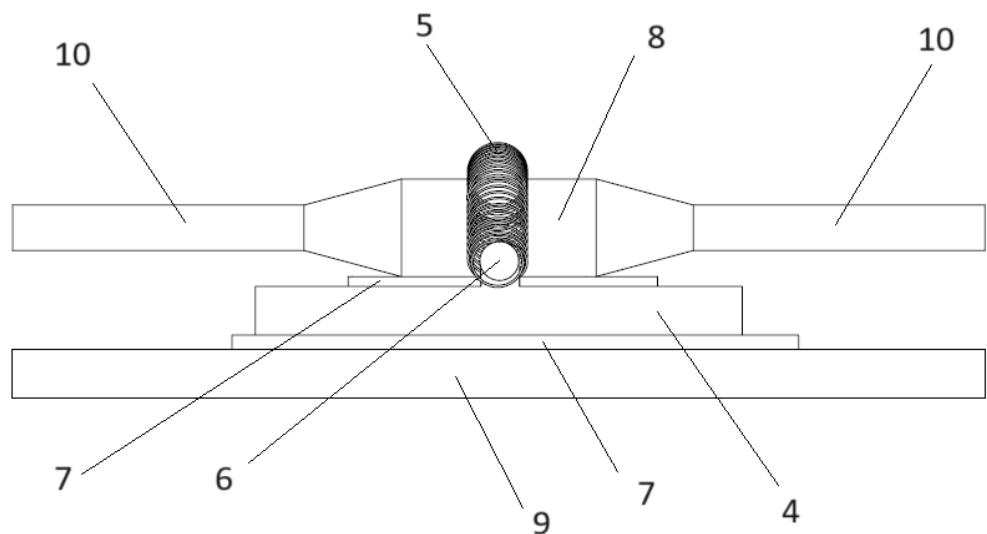


FIG.5

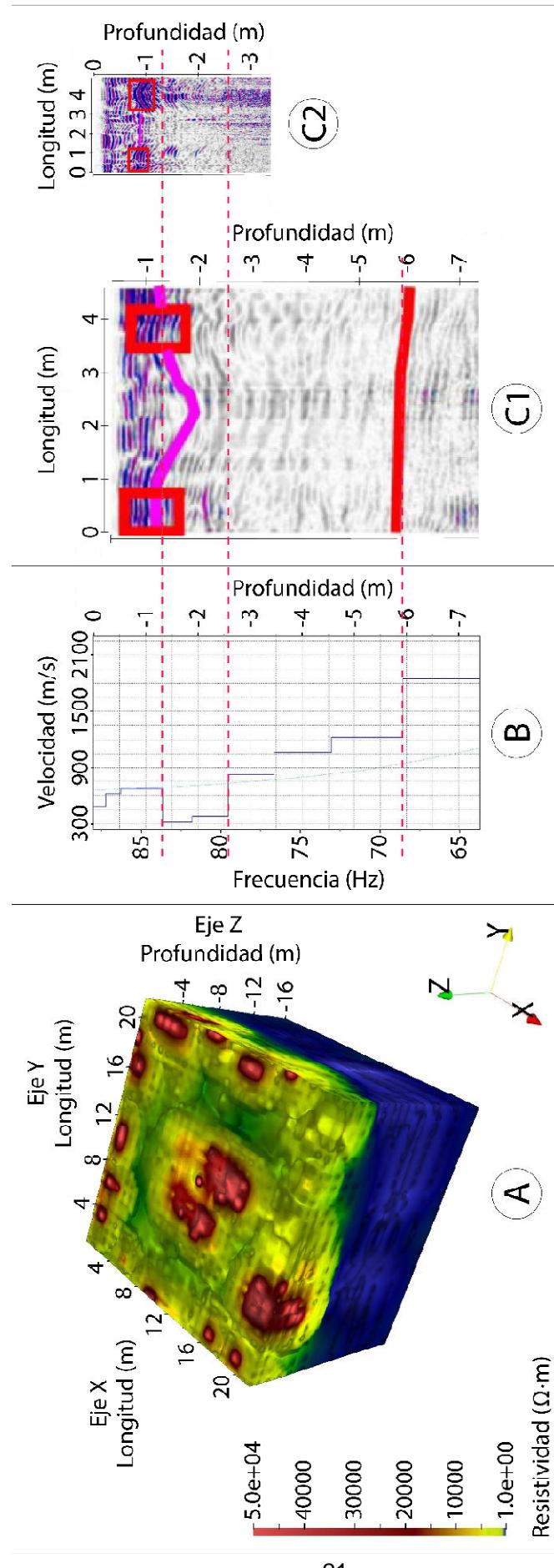


FIG.6



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA

(21) N.º solicitud: 202331079

(22) Fecha de presentación de la solicitud: 22.12.2023

(32) Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

(51) Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	A.M.E. MOHAMED, I. EL-HUSSAIN A. DEIF S.A.S. ARAFFA K. MANSOUR AND G. AL-RAWAS. Integrated ground penetrating radar, electrical resistivity tomography and multichannel analysis of surface waves for detecting near-surface caverns at Duqm area, Sultanate of Oman.[en línea][recuperado el 25/06/2019]. Recuperado de Internet <URL: https://www.earthdoc.org/content/journals/10.1002/nsq.12054 >. descripción; resumen; figuras.	1-15
X	N. PAPADOPPOULUS, A. SARRIS, C. MARIA, M.C. SALVI, S. DEDERIX, P. SOPIOIS, Ü. DIKMEN. Rediscovering the small theatre and ampitheatre of ancient Ierapetra (SE Crete) by integrated geophysical methods [en línea][recuperado el 2012]. https://www.researchgate.net/publication/253240238_Rediscovering_the_small_theatre_and_ampitheatre_of_ancient_Ierapetra_SE_Crete_by_integrated_geophysical_methods . todo el documento.	1-6, 14
A	RENÉ E. CHÁVEZ, ANDRÉS TEJERO-ANDRADE, GERARDO CIFUENTES, DENISSE L. ARGOTE-ESPINO & ESTEBAN HERNÁNDEZ-QUINTERO. Karst Detection Beneath the Pyramid of El Castillo, Chichen Itza, Mexico, by Non-Invasive ERT-3D Methods. [en línea][recuperado el 18/10/2018]. Recuperado de Internet <URL: https://www.nature.com/articles/s41598-018-33888-9 >. todo el documento.	1-3, 6-10
A	Enhancing Electrical Contact with a Commercial Polymer for Electrical Resistivity Tomography on Archaeological Sites: A Case Study. [en línea][recuperado el 06/11/2020]. Recuperado de Internet <URL: https://www.researchgate.net/publication/343393419_Enhancing_Electrical_Contact_with_a_Commercial_Polymer_for_Electrical_Resistivity_Tomography_on_Archaeological_Sites_A_Case_Stud >. todo el documento.	1-2, 6-13
A	G. RANIERI, S. V. CALCINA, L. PIRODDI. Preventive geophysical surveys for the Evaluation of the archaeological risk: examples from the region of the ancient Pylos (western Peloponnese, Greece). [en línea][recuperado el 09/2021]. Recuperado de Internet <URL: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9732387 >. todo el documento.	1-2, 6-7
A	E.N. ATHANASIOU, P.I. TSOURLOS, G.N. VARGEMEZIS, C.B. PAPAZACHOS AND G.N. TSOKAS. Non-destructive DC resistivity surveying using flat-base electrodes. [en línea] [recuperado el 08/2007]. Recuperado de Internet <URL: http://geophysics.geo.auth.gr/new_web_site_2007/download_files/costas.CV/115.pdf >. todo el documento.	1-2, 6
A	ES 2933874 A1 (UNIV CARTAGENA POLITECNICA) 14/02/2023, página 7, línea 21-página 9, línea 10.	1-2, 6-7, 11

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
10.10.2024

Examinador
M. Á. Pérez Quintana

Página
1/2

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

G01V3/00 (2006.01)

G01V3/02 (2006.01)

G01V11/00 (2006.01)

G01N27/00 (2006.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01V, G01N

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC