

---

ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE  
TOMOGRFÍA ELÉCTRICA 2D Y  
TOMOGRFÍA MARINA 2D (ERT2D),  
PARA CARACTERIZACIÓN  
RESISTIVA DEL SUBSUELO A LO  
LARGO DE TRAZADO DE  
PERFORACIÓN HORIZONTAL  
DIRIGIDA PARA EMISARIO  
SUBMARINO EN MENORCA (ILLES  
BALEARS).

---

Peticionario: GRADUAL INGENIEROS

---

Geozone Asesores, S.L.

Inscrita en el Reg. Merc. De Valencia,

Tomo 8777, Libro 6063, Hoja

V-125194, Inscrip. 1ª del 12-11-07.

C.I.F. B-97.95.11.98

## INDICE

1. Antecedentes y objeto de estudio .....	1
2. Fundamento del método empleado .....	2
2.1. Método eléctrico .....	2
2.1.1. Método general de cuatro electrodos.....	2
2.1.2. Configuraciones especiales .....	3
2.1.3. Tomografías Eléctricas .....	5
3. Campaña de campo .....	7
3.1. Equipos empleados .....	7
3.1.1. Resistivímetro SYSCAL IRIS PRO SWITCH 48 canales. ....	7
4. Resultados e interpretación .....	11
4.1. Resultados e interpretación tomografía eléctrica terrestre ( <b>ERT2D-T</b> ).....	12
4.2. Resultados e interpretación tomografía eléctrica marina ( <b>ERT2D-M</b> ) .....	13
5. Conclusiones .....	14
6. Bibliografía .....	17
7. Anexo I: Plano de ubicación de ensayos .....	18
8. Anexo II: Resultados Tomografía Eléctrica. ....	19
9. Anexo III: Plano de anomalías en planta. ....	20
10. Anexo V: Reportaje Fotográfico .....	21

## 1. Antecedentes y objeto de estudio

En Enero de 2023 la empresa GRADUAL INGENIEROS S.L. solicita a GEOZONE ASESORES S.L., la realización de un estudio geofísico, aplicando la técnica de tomografía eléctrica 2D en trazado de perforación horizontal dirigida (PDH) para emisario submarino.

El trazado proyectado en PDH para emisario submarino, consta de una parte en ámbito terrestre, y una segunda parte correspondiente al ámbito marino. El emisario submarino proyectado se encuentra en su inicio en el municipio de Villacarlos, al norte de la Pedrera de marés en Sol del Este, iniciando el tramo marino en Es Pouet, y extendiéndose paralelo a costa en dirección sureste, llegando el tramo final de estudio a las proximidades del Faro de Mahón.

El presente estudio tiene como objeto la caracterización resistiva del subsuelo, obteniendo la distribución y extensión de las capas resistivas, asociando estas a materiales en función del patrón, disposición resistiva e información geológica de la zona, permitiendo el estudio en la traza del emisario proyectado en la ejecución de la perforación horizontal dirigida, diferenciando aquellos materiales de mejor compacidad, así como la existencia de posibles oquedades.

La zona de estudio se ubica en la zona de costa paralelo al municipio de Villacarlos, perteneciente a la isla de Menorca (Illes Balears).

Situación de la zona de estudio:

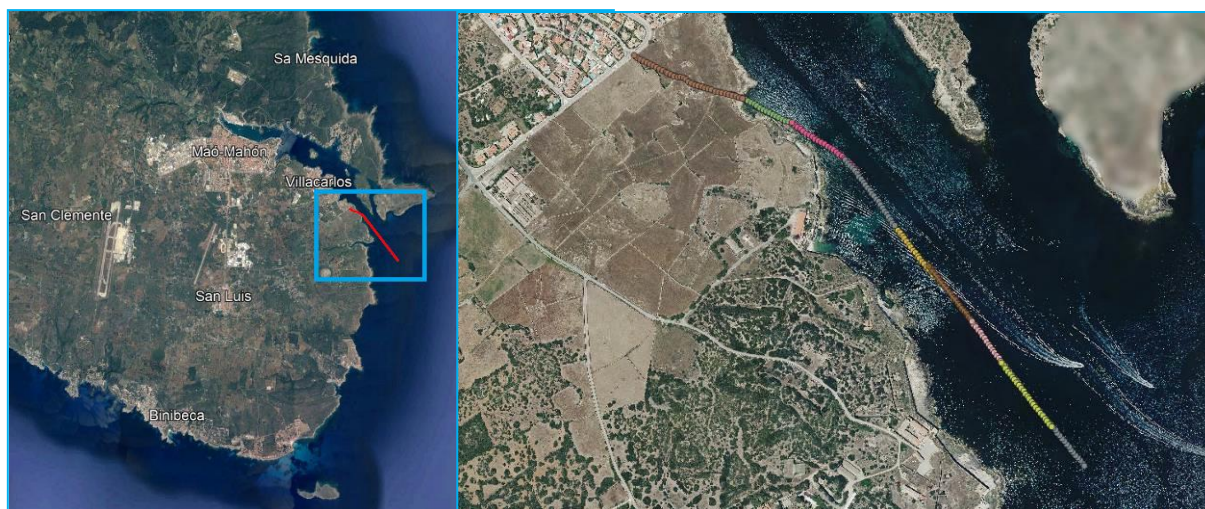


Figura 1: Imagen satelital ubicación y emplazamiento zona de estudio (Google Earth).

## 2. Fundamento del método empleado

### 2.1. Método eléctrico

La distribución de la corriente eléctrica en el subsuelo se distribuye de manera que la corriente fluye desde el electrodo fuente (A), el cual inyecta la electricidad al terreno, hacia el electrodo que actúa como un sumidero (B), en el cual la corriente fluye fuera del terreno. Las líneas de corriente (líneas en color azul en el esquema inferior) fluyen radialmente desde ambos electrodos, con sentido de A a B (ver figura inferior).

La línea equipotencial (líneas en rojo) hace referencia a la fracción de corriente que pasa por encima de cada línea.

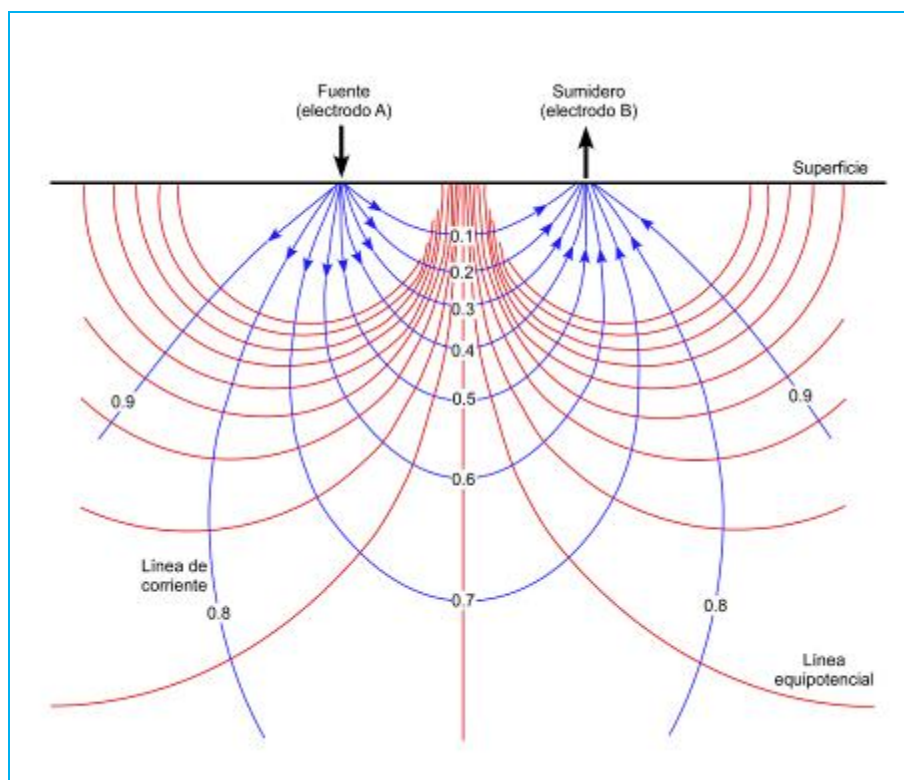


Figura 2: Esquema general de superficies equipotenciales y líneas de corriente (modificado de Lowrie, 1997).

#### 2.1.1. Método general de cuatro electrodos

Se considera una distribución de cuatro electrodos, dos de corriente (A y B) y dos de potencial (C y D) (ver Figura 2). Los electrodos de corriente actúan como electrodo fuente A y electrodo de sumidero B, como hemos visto en el apartado 2.1.

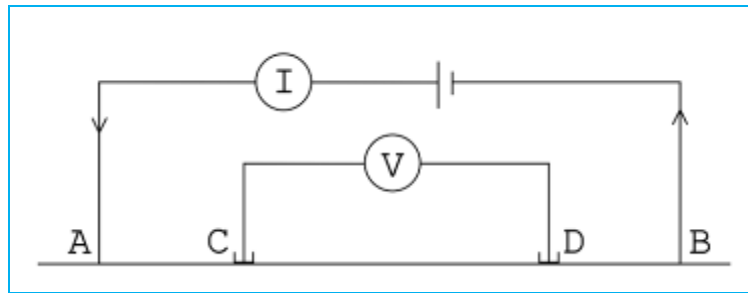


Figura 3: Esquema que muestra una disposición tetraelectrónica básica.

En el electrodo detector de corriente C el potencial debido a la fuente A es:  $+ \rho I / (2\pi r_{AC})$ , mientras que el potencial debido al sumidero B es:  $- \rho I / (2\pi r_{BC})$ . Siendo  $\rho$  la resistividad,  $I$  la intensidad de corriente,  $r_{AC}$  la distancia entre electrodos AC y  $r_{CB}$  la distancia entre electrodos CB. El potencial ( $U$ ) combinado en C es:

$$U_c = \rho I / 2\pi (1/r_{AC} - 1/r_{CB})$$

De manera similar en el caso del potencial ( $U$ ) en D es:

$$U_c = \rho I / 2\pi (1/r_{AD} - 1/r_{DB})$$

Por tanto, la diferencia de potencial  $V$  medida por un voltímetro conectado entre C y D es:

$$V = \rho I / 2\pi [1/(1/r_{AC} - 1/r_{CB}) - (1/r_{AD} - 1/r_{DB})]$$

### 2.1.2. Configuraciones especiales

Las tres configuraciones más comunes son la Wenner, Schlumberger y dipolo-dipolo. En estas tres configuraciones los electrodos se disponen de manera colinear, pero sus espaciados y geometrías son diferentes.

#### 2.1.2.1. Wenner

Los pares de electrodos de corriente y de potencial tienen un punto medio común. Las distancias entre los electrodos adyacentes son iguales, siendo  $r_{AC} = r_{DB} = a$  ;  $r_{CB} = r_{AD} = 2a$ .

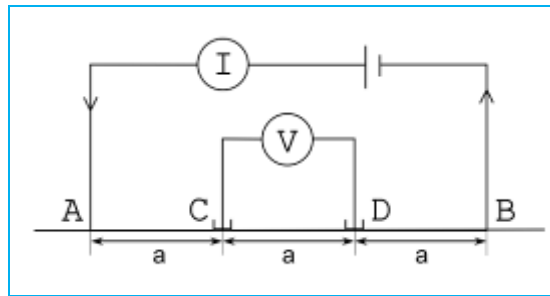


Figura 4: Esquema que muestra una disposición de los electrodos en una configuración Wenner

La fórmula de la resistividad para este tipo de arreglo es:

$$\rho = 2\pi a V/I$$

Esta configuración se adapta mejor a investigaciones orientadas a determinar variaciones horizontales de resistividad. Ejemplos de uso: para localizar contactos entre capas con buzamientos de gran ángulo y buenos conductores, tales como diques mineralizados, que podrían ser menas metálicas.

#### 2.1.2.2. Schlumberger

En esta configuración los pares de electrodos de corriente y de potencial también tienen un punto medio común, pero las distancias entre los electrodos adyacentes difieren. Si la distancia entre electrodos de corriente es  $L$ , y entre los electrodos de potencial es  $a$  :

$$r_{AC} = r_{DB} = (L - a)/2 ; \quad r_{AD} = r_{CB} = (L + a)/2$$

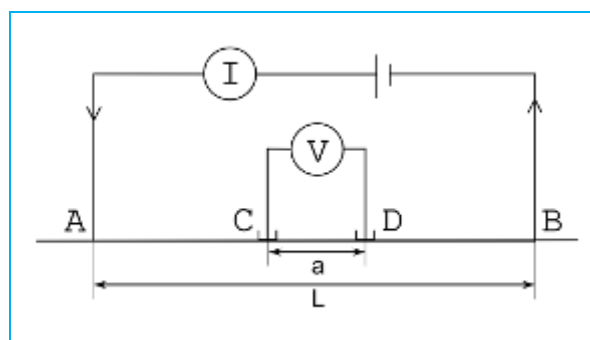


Figura 5: Esquema que muestra una disposición de los electrodos en una configuración Schlumberger

La fórmula de la resistividad para esta configuración es:

$$\rho = \pi/4 V/I (L^2 - a^2/a)$$

Esta configuración se utiliza para determinar la variación de la resistividad con la profundidad, estando mejor adaptada a la determinación de capas horizontales, como capas sedimentarias; o a la localización del nivel freático.

#### 2.1.2.3. Dipolo-dipolo

El espaciado de los electrodos en cada par es  $a$ , mientras que la distancia de su punto medio es  $L$ . En este caso  $r_{AC} = r_{DB} = L$  ;  $r_{CB} = L - a$  ;  $r_{AD} = L + a$  .

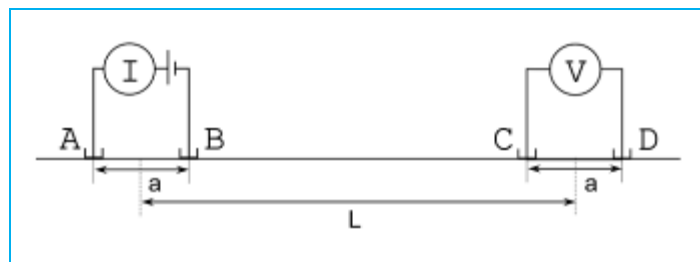


Figura 6: Esquema que muestra una disposición de los electrodos en una configuración Dipolo-Dipolo.

La fórmula de la resistividad para esta configuración es:

$$\rho = \pi V/I (L(L^2 - a^2)/a^2)$$

Esta configuración está mejor adaptada a la localización de cavidades en el terreno.

#### 2.1.2.4. Wenner-Schlumberger

Es una configuración combinada entre las configuraciones Wenner y Schlumberger. Es la configuración más utilizada para investigaciones del subsuelo, para determinación y localización de contactos entre capas con diferente resistividad.

#### 2.1.3. Tomografías Eléctricas

La tomografía eléctrica es una técnica comúnmente utilizada en Europa y Estados Unidos para la caracterización, detección y delimitación de cavidades. A su vez, permite la caracterización de recursos mineros midiendo las diferencias entre las resistividades de los materiales atravesados. Las resistividades obtenidas nos indican qué tipo de materiales se han ensayado, pudiendo formular un modelo aproximado del sustrato.

Se trata de un método de prospección eléctrico, es decir, basado en la medición de resistividades aparentes de los materiales del subsuelo. Se emplea un número de electrodos que permiten hacer mediciones simultáneas a lo largo de un perfil, aumentando la eficiencia y rendimiento del proceso de medida.

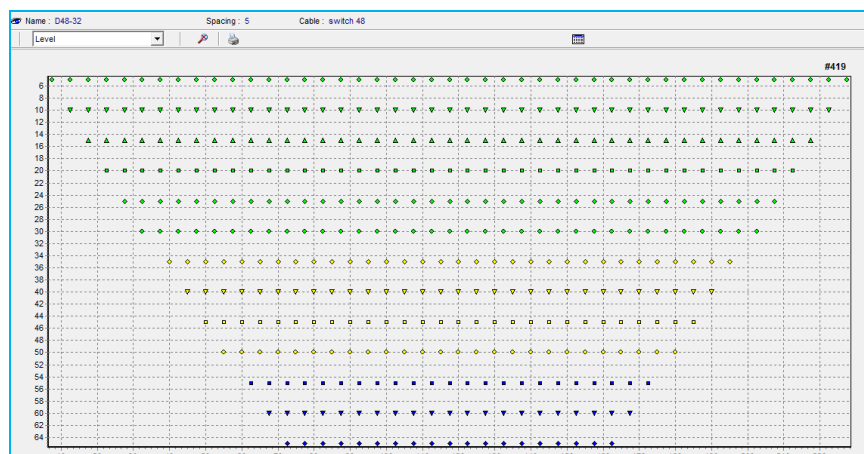


Figura 7: Ejemplo de configuración utilizada para la creación de una pseudo-sección eléctrica.

El aumento progresivo de la separación de los electrodos conlleva una medición de resistividad aparente a mayor profundidad. La realización de mediciones con distintas separaciones de los electrodos permite obtener una pseudo-sección, reflejando la calidad de la variación espacial de la resistividad aparente de un perfil.



### 3. Campaña de campo

La adquisición de los datos en campo fue llevada a cabo los días 11, 12 y 13 de Enero de 2023.

El trabajo de campo consistió en la realización de un tramo de Tomografía Eléctrica Terrestre, este tramo del trazado ha sido cubierto por 2 perfiles solapados, empleando una configuración Wenner – Schlumberger y Dipolo-dipolo de alta resolución con 24 electrodos y una separación entre electrodos de 7 metros, conformando una longitud total de 234,50 metros.

El tramo de Tomografía Eléctrica Marina, ha sido cubierto mediante 8 perfiles, el primero de ellos se superpone con el tramo de tomografía terrestre, solapándose a su vez entre ellos para no obtener discontinuidades resistivas a lo largo de todo el perfil.

El tramo marino tiene una longitud de 1030,45 metros.

La configuración Wenner - Schlumberger es adecuada para caracterizar zonas de contacto litológico y cambios laterales, además de presentar estabilidad en la adquisición de medidas, siendo la Dipolo – dipolo, adecuada para la caracterización de cambios laterales y verticales en medios estables.

#### 3.1. Equipos empleados

##### 3.1.1. Resistivímetro SYSCAL IRIS PRO SWITCH 48 canales.

El equipo utilizado para los ensayos eléctricos mediante perfiles de tomografía eléctrica es el resistivímetro SYSCAL IRIS PRO SWITCH de 48 canales, con número de serie 10513-3837281673-230. Los resistivímetros funcionan emitiendo electricidad por los electrodos de corriente, y reciben el paso de la misma por otros electrodos denominados de potencial. La diferencia del paso de corriente y la distancia entre los electrodos determinan la resistividad aparente del terreno, realizando tomas de datos a diferentes profundidades.



Figura 8: Resistivímetro SYSCAL IRIS PRO SWITCH 48.

En el procesado de la tomografía marina es necesario el conocimiento de la lámina de agua sobre el cable marino sumergido mediante la batimetría, además de la conductividad de dicha lámina de agua para considerarla en el procesado.

La conductividad en un fluido está condicionada por diversos factores, a remarcar entre estos la temperatura y el contenido en minerales de un volumen acuoso (ppm). La cantidad de electrolitos facilita el paso de la corriente por un medio fluido, aumentando la conductividad, y por tanto reduciendo la resistencia al paso de los iones. El equipo realiza una compensación de la conductividad por la temperatura. El equipo empleado es un medidor PCE-PHD 1.



Tabla 1: Resistividad agua salina.

Conductividad zona B	55.4	mSm/cm
Temperatura °C	17.7	°C
Resistividad agua marina (inversa de conductividad)	0.18	Ohms.m

La resistividad considerada en la lámina de agua salina y tenida en cuenta para el procesamiento de los ensayos eléctricos ha sido de 0,18 Ohm.m.

Las coordenadas de los electrodos del cable marino se obtuvieron con un GPS de mano marca Garmin, con resolución +/- 3 metros y sistema de coordenadas ETRS89 y Huso 31.

Posición de los perfiles de tomografía terrestre y marina en UTM ETRS89 tomado en campo:

Tabla 2: Coordenada inicial y final perfiles tomografía eléctrica.

Perfil	Xini	Yini	Zini	Xfinal	Yfinal	Zfinal
Tomografía Terrestre	611101.1	4414462.5	12.9	611242.3	4414398.6	5.9
	611166.1	4414428.4	9.6	611312.8	4414378.9	1.1
Tomografía Marina	611290.4	4414386.6	3.0	611431.3	4414313.5	-2.6
	611409.4	4414331.7	-2.0	611537.0	4414237.0	-5.2
	611513.2	4414258.5	-4.8	611609.7	4414130.8	-11.6
	611599.4	4414144.2	-10.9	611699.8	4414018.8	-16.4
	611677.6	4414052.5	-14.2	611775.6	4413927.1	-15.9
	611761.0	4413943.8	-11.8	611856.6	4413818.1	-21.1
	611819.7	4413862.6	-17.4	611917.6	4413738.3	-11.6
	611879.5	4413785.3	-13.3	611981.8	4413662.8	-18.2

La localización de los perfiles se puede consultar en el Anexo I: Plano de ubicación de ensayos.

En el Anexo I: Plano de ubicación de ensayos, adjunto a este informe, se muestra gráficamente la posición de la tomografía eléctrica marina realizada, teniendo en cuenta la disposición de esta y la batimetría correspondiente en el procesamiento de la tomografía. La batimetría a lo largo de los perfiles se ha realizado mediante la interpolación de las curvas de nivel con un incremento de cota de 1 metro, así como el modelo digital del terreno mdt02 de la zona terrestre.

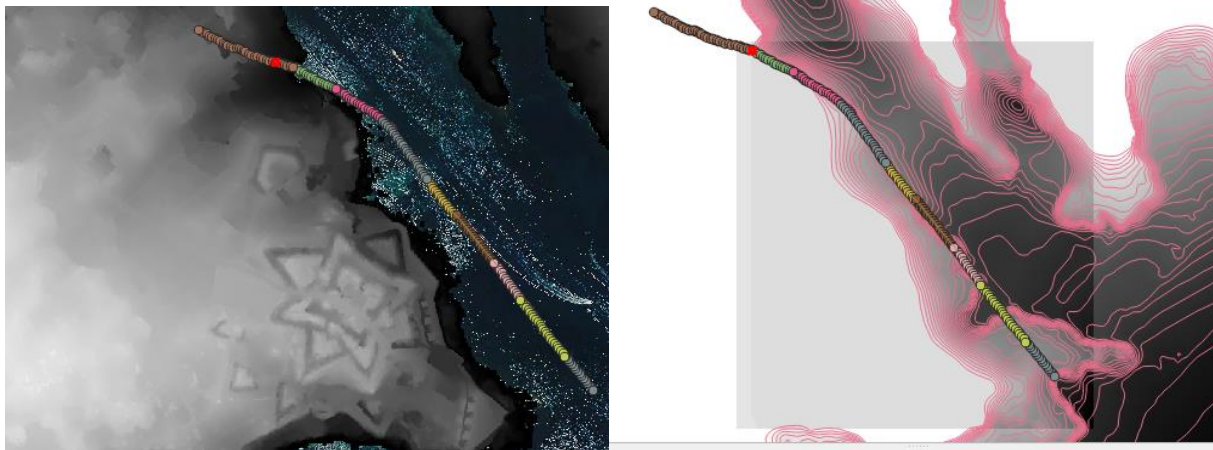


Figura 9: Obtención batimetría y topografía perfiles ert.

En lo que respecta a la disposición de los perfiles, estos se encuentran con orientación noroeste (inicio) – sureste (final), extendido a lo largo del trazado proyectado para el emisario.

La temperatura atmosférica fue de 12 °C, la cual se tuvo en cuenta para el procesado de los datos. Los datos de campo de la tomografía han sido corregidos mediante el software específico Prosys III. El postproceso de datos se realizó mediante el software RES2Dinvx64, que permite el procesado de perfiles terrestres y tomografía marina mediante la definición de la lámina de agua y las resistividades medias medidas del agua marina.

- La ubicación del perfil se muestra en el Anexo I: Plano de ubicación de ensayos.
- Los modelos de inversión de las tomografías marinas se presentan en el Anexo II: Resultados Tomografía Eléctrica.
- Las anomalías se presentan en planta en el Anexo III: Plano de anomalías en planta.

## 4. Resultados e interpretación

Atendiendo al Mapa geológico del IGME, correspondiente a la hoja nº 647 III, Maó, a escala 1:25.000, así como el sondeo facilitado por el cliente próximo a la zona de estudio, se tienen las siguientes unidades geológicas en la zona de estudio:

Materiales pertenecientes al Mioceno:

- 10. Conglomerados.
- 11. Calcarenitas, biocontrucciones y taludes arrecifales.

Dado que las resistividades de los materiales existentes se han obtenido en medios diferentes (terrestre y marino), la asociación de materiales no puede ser definida únicamente mediante el patrón resistivo propio de un material, por lo que ha de realizarse una descripción a partir de los valores resistivos con la consideración de la continuidad, disposición y extensión de las resistividades obtenidas.

Dicho lo anterior, se han definido los siguientes rangos asociados a materiales:

- Resistividades muy bajas inferiores a 0,5 Ohm.m (color azul oscuro), pueden corresponderse con sedimento no consolidado de grano fino a medio de baja compacidad saturado.
- Resistividades muy bajas comprendidas entre 0,5 – 2.5 Ohm.m (color azul), puede corresponderse con sedimento no consolidado de grano medio a grueso saturado de compacidad media.
- Resistividades bajas comprendidas entre 2.5 – 10 Ohm.m, (color azul verdoso, verde lima y verde oscuro), pueden corresponderse con sedimento no consolidado de grano grueso saturado, calcarenitas fracturadas y/o fondos de sedimento compacto.
- Resistividades medias comprendidas entre 10 – 1.500 Ohm.m (color verde claro, amarillo, marrón y rojo), pueden corresponderse con calcarenitas competentes.
- Resistividades altas superiores a 1.500 Ohm.m (color morado), pueden corresponderse con zonas oquerosas de menor compacidad.

Para la descripción del perfil de tomografía eléctrica ERT2D, tanto en ámbito terrestre como marino, se han procesado tanto de forma conjunta como disociada, generando un modelo para el perfil terrestre, y otro para el perfil marino. Lo anterior permite la obtención de mayor detalle en los perfiles obtenidos, así como una

disminución del contraste resistivo, que podría suavizar zonas de alta resistividad en la zona terrestre. Estos modelos se presentan en el Anexo II: Resultados Tomografía Eléctrica.

#### 4.1. Resultados e interpretación tomografía eléctrica terrestre (**ERT2D-T**)

En el perfil de tomografía eléctrica emplazado en el ámbito terrestre, se han diferenciado las siguientes capas resistivas:

- Se tiene una capa extendida a lo largo de todo el perfil con resistividades comprendidas entre 10 – 1.500 Ohm.m, (color verde claro, amarillo, marrón y rojo), que pueden corresponderse con calcarenitas competentes. Esta capa resistiva se presenta a lo largo de todo el perfil y llegando a profundidad máxima de investigación. Dentro de este rango resistivo, se tiene una capa superficial con valores superiores a los 50 Ohm.m (color marrón y rojo), con un espesor superior a los 22 metros en el margen noroeste del perfil, disminuyendo en el avance del perfil a 2,80 metros en el metro 225 del perfil. Y un segundo rango resistivo bajo este, con valores comprendidos entre 10 – 50 Ohm.m (color verde y amarillo), que podrían corresponderse con calcarenitas con la influencia del nivel freático.
- Inmersa en esta primera capa resistiva, se han determinado dos nódulos de alta resistividad con valores superiores a los 1.500 Ohm.m (color morado), que podrían corresponderse con zonas oquerosas y/o cavidades. El primero se tiene entre el metro 21,64 al 29,50 a una profundidad de 4,80 metros y un espesor de 1,85 metros, y el segundo nódulo de mayor entidad, entre el metro 78 al 89,50 a una profundidad de 4,75 metros y un espesor de 4,25 metros.
- Finalmente, se tiene un tercer rango resistivo diferenciado con valores de resistividad bajos comprendidos entre 2,5 – 10 Ohm.m, (color azul verdoso, verde lima y verde oscuro), que pueden corresponderse con sedimento no consolidado de grano grueso saturado y/o calcarenitas fracturadas, pudiendo corresponderse a la intrusión marina en medios con mayor porosidad. Este rango se tiene a partir del metro 149, presentándose se forma más somera conforme se acerca a línea de costa.
- Se ha alcanzado una profundidad máxima de investigación de 36 metros.

#### 4.2. Resultados e interpretación tomografía eléctrica marina (ERT2D-M)

En el perfil de tomografía eléctrica ubicado en ámbito marino, se han determinado las siguientes capas resistivas asociadas a materiales:

- De forma general, se tiene una primera capa definida, la cual se presenta en mayor extensión, con resistividades comprendidas entre 10 – 1.500 Ohm.m, (color verde claro, amarillo, marrón y rojo), y que pueden corresponderse con calcarenitas competentes. Estas se presentan desde el metro 466,75 a longitud máxima del perfil, de forma continua sin presentarse la inmersión de nódulos de baja resistividad. Se tiene aflorante en el lecho marino en gran parte del perfil, alcanzando profundidades máximas de investigación.
- Se ha diferenciado una segunda capa de resistividades bajas, con valores inferiores a los 10 Ohm.m (colores azules y verdes), este rango resistivo puede estar asociado con sedimento no consolidado de grano fino, medio a grueso, incrementándose los valores resistivos en función del tamaño de grano y la compacidad existente. Estas zonas resistivas se presentan sobre la capa anterior aflorando en superficie. Presentando una primera zona entre el metro 587,45 al 684,65 con un espesor máximo de 6,15 metros, una segunda zona entre el metro 852 al 897,50 con un espesor máximo de 5,40 metros, una tercera zona entre el metro 945 al 1022 con un espesor de 9,30 metros, una cuarta zona entre el metro 1050 al 1122,50 con un espesor de 17 metros y finalmente, una quinta zona a partir del metro 1197,50 con un espesor de 6,80 metros.
- Este rango resistivo se presenta en el inicio del perfil, en la interfaz terrestre-marina, correspondiente entre el metro 231,15 al 457 del perfil, con valores resistivos inferiores a los 10 Ohm.m (colores azules y verdes), caracterizando estas resistivas como sedimentos de grano fino saturado para el caso de resistividades inferiores a 0,5 Ohm.m (color azul oscuro), aflorantes en superficie con espesores comprendidos entre 4-11 metros. Bajo esta se tiene un incremento resistivo a valores comprendidos entre 0,5 – 2,5 Ohm.m (color azul claro), que podría ser indicativo de un aumento de grano o compacidad, pudiendo corresponderse con sedimento no consolidado de grano medio a grueso con compacidad media. Este se tiene con un espesor variable de 12 – 20 metros.
- Finalmente, se presenta un incremento resistivo relativo bajo la anterior capa, con valores comprendidos entre 2,5 – 10 Ohm.m (color azul verdoso, verde lima y verde oscuro), que podrían corresponderse con sedimento no consolidado de grano grueso saturado, calcarenitas fracturadas y/o fondos de sedimento compacto. Esta capa resistiva presenta un gradiente resistivo alto



respecto a la primera capa de resistividades más elevadas asociables con las calcarenitas. Este cambio resistivo, atendiendo a la disposición y gradiente, podría estar asociado con la presencia de una zona fracturada, presentando una discontinuidad resistiva. Atendiendo al plano resistivo generado, se ha obtenido un buzamiento aparente de  $32,43^\circ$  en dirección noroeste, sin ser definible de forma fidedigna con los ensayos realizados.

- Se ha alcanzado una profundidad máxima de investigación de 33 metros.
- 

## 5. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en los perfiles de tomografía eléctrica terrestre y marina cabe resaltar las siguientes conclusiones:

- La asociación de resistividades a materiales ha sido realizada considerando la información geológica de la zona, así como la información geotécnica facilitada por el cliente, la continuidad, extensión y disposición resistiva, así como el gradiente resistivo existente, diferenciando los siguientes rangos resistivos:
  - Resistividades muy bajas inferiores a 0,5 Ohm.m (color azul oscuro), asociadas con sedimento no consolidado de grano fino a medio de baja compacidad, saturado.
  - Resistividades muy bajas comprendidas entre 0,5 – 2.5 Ohm.m (color azul), asociado con sedimento no consolidado de grano medio a grueso saturado de compacidad media.
  - Resistividades bajas comprendidas entre 2.5 – 10 Ohm.m, (color azul verdoso, verde lima y verde oscuro), asociadas con sedimento no consolidado de grano grueso saturado, calcarenitas fracturadas y/o fondos de sedimento compacto.
  - Resistividades medias comprendidas entre 10 – 1.500 Ohm.m (color verde claro, amarillo, marrón y rojo), asociadas con calcarenitas competentes.
  - Resistividades altas superiores a 1.500 Ohm.m (color morado), pueden asociarse con zonas oquerosas de menor compacidad.
- Las resistividades asociadas a materiales presentan un rango de resistividades amplio al encontrarse una interfaz terrestre/ marina, en las que



materiales con mayor porosidad, presentan un mayor grado de saturación, y por tanto una disminución en el rango resistivo.

- En lo que respecta a la tomografía ubicada en la zona terrestre, se tiene una capa de resistividades continua con valores superiores a los 50 Ohm.m (color marrón y rojo), asociado con calcarenitas con un menor grado de saturación, presentándose con un espesor variable, siendo superior en el inicio del perfil, y disminuyendo con el avance de este, estando influenciado por el nivel freático, con espesores variables de 22 en el inicio del perfil y 2,80 en el final de este. Bajo esta, se presenta una disminución resistiva a valores comprendidos entre 10 – 50 Ohm.m (color verde y amarillo), este descenso resistivo esta condicionado por la influencia del nivel freático. Finalmente se han determinado dos zonas de alta resistividad con valores superiores a los 1.500 Ohm.m (color morado), que pueden corresponderse con zonas oquerosas y/o cavidades, siendo la primera de menor entidad, con profundidades de afección comprendidas entre el metro 4,80 al 6,65 y una segunda zona de mayor entidad, a una profundidad comprendida entre el metro 4,75 al 9.
- En lo que respecta a la tomografía eléctrica en ámbito marino, se presenta de forma generalizada, resistividades comprendidas entre 10 – 1.500 Ohm.m, asociado con calcarenitas compactas, con disposición masiva, no se identifica la intercalación de nódulos de baja resistividad indicativos de posibles cavidades con un alto grado de saturación, para el caso de cavidades embebidas, o nódulos de alta resistividad, indicativos de zonas oquerosas o cavidades rellenas de aire. Sobre este rango resistivo se tienen zonas de muy baja resistividad ubicadas de forma puntual, aflorantes en superficie, estas bajas resistividades no se caracterizan por condicionar la perforación horizontal dada la profundidad de afección.
- Se tiene entre el metro 231,15 al 457 del perfil, una reducción resistiva a valores inferiores de 10 Ohm.m, pudiendo corresponderse a materiales con mayor porosidad, tales como sedimento no consolidado y/o calcarenitas con mayor grado de fracturación, siendo inferiores los valores resistivos en función del tamaño y compacidad. Este rango resistivo se extiende en profundidad entre el metro 283,50 al 410, generando un alto gradiente y formando un plano resistivo que podría corresponderse con una zona de fractura.
- En lo que respecta a la perforación horizontal dirigida, no se presentan anomalías de muy baja resistividad inmersas en rangos resistivos de alta resistividad, implicando la presencia de cavidades saturadas, ocasionando un

riesgo en la ejecución de la perforación. Esta tipología de anomalía de baja resistividad no se presenta a lo largo de la traza del emisario proyectada.

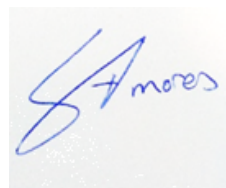
- Se debe considerar la zona de baja resistividad ubicada entre el metro 231,15 al 457 del perfil, dado que este podría estar asociado con la presencia de materiales conglomerados y/o calcarenitas con un mayor grado de fracturación.
- Los métodos geofísicos son métodos no intrusivos y por tanto indirectos. Son una herramienta de apoyo que permite dar una orientación de la estructuración del subsuelo. Dichos métodos se rigen aplicando leyes físicas empíricas a entornos complejos. De dicha aplicación se obtienen modelos aproximados de la realidad, en los cuales siempre existe un error, imponderable, de aproximación. La experiencia en aplicaciones geofísicas a nivel mundial señala que dicho error es bajo a muy bajo, aunque variable en función de multitud de parámetros, entre ellos, la densidad de datos tomados, tal y como sucede en cualquier modelización matemática.

Bétera, 23 de Enero de 2023.



JOSÉ ANTONIO ÁLVAREZ MUÑOZ

Licenciado en Geografía Física  
Especialista en Geofísica.  
Col. Nº 3022



SERGIO AMORES SANCHEZ

Ing. Geólogo  
Especialista en Geofísica.

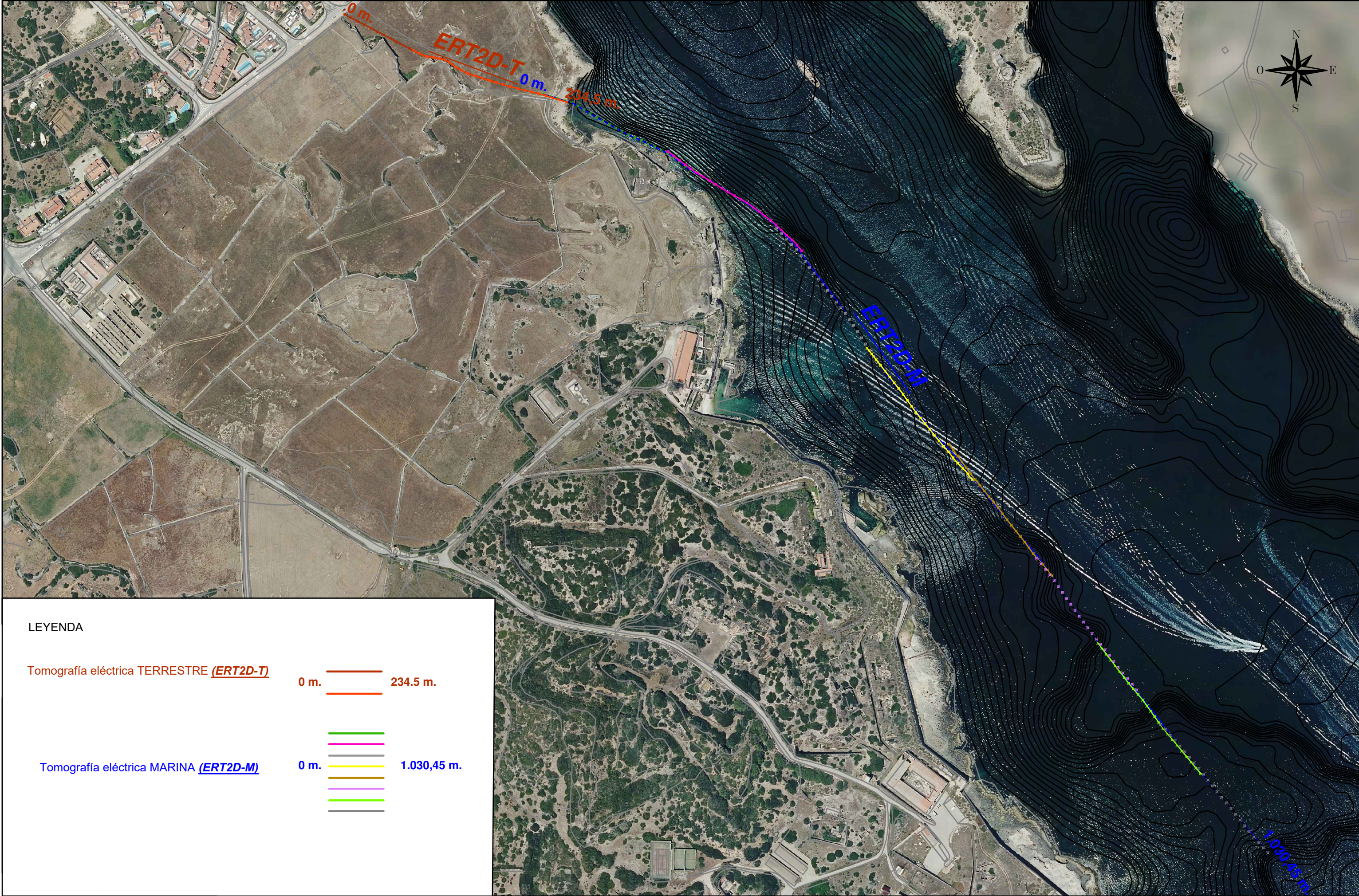
---

## 6. Bibliografía

- Telford, W.N, L.P. Geldart, R.E. Sheriff. "Applied Geophysics". Second Edition. Cambridge University Press.
- D6429 Guide for Selection Surface Geophysical Methods.
- G57 Test Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four-Electrode Method.
- ASTM D6431-99 Standard Guide for using the direct current resistivity method for Subsurface Investigation.
- ASTM D7128-05 Standard Guide for Using the Seismic-Reflection Method for Shallow Surface Investigation.
- ASTM D577-00 Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Surface Investigation.
- Pazdirek, O. and Blaha, V., 1996. Examples of resistivity imaging using ME-100 resistivity field acquisition system. EAGE 58th Conference and Technical Exhibition Extended Abstracts. Amsterdam.
- EAGE Publications, 2014. Application Manual of Geophysical Methods to Engineering and Environmental Problems.

## 7. Anexo I: Plano de ubicación de ensayos





LEYENDA

- Tomografía eléctrica TERRESTRE (ERT2D-T)

0 m.

234.5 m.
- Tomografía eléctrica MARINA (ERT2D-M)

0 m.

1.030,45 m.

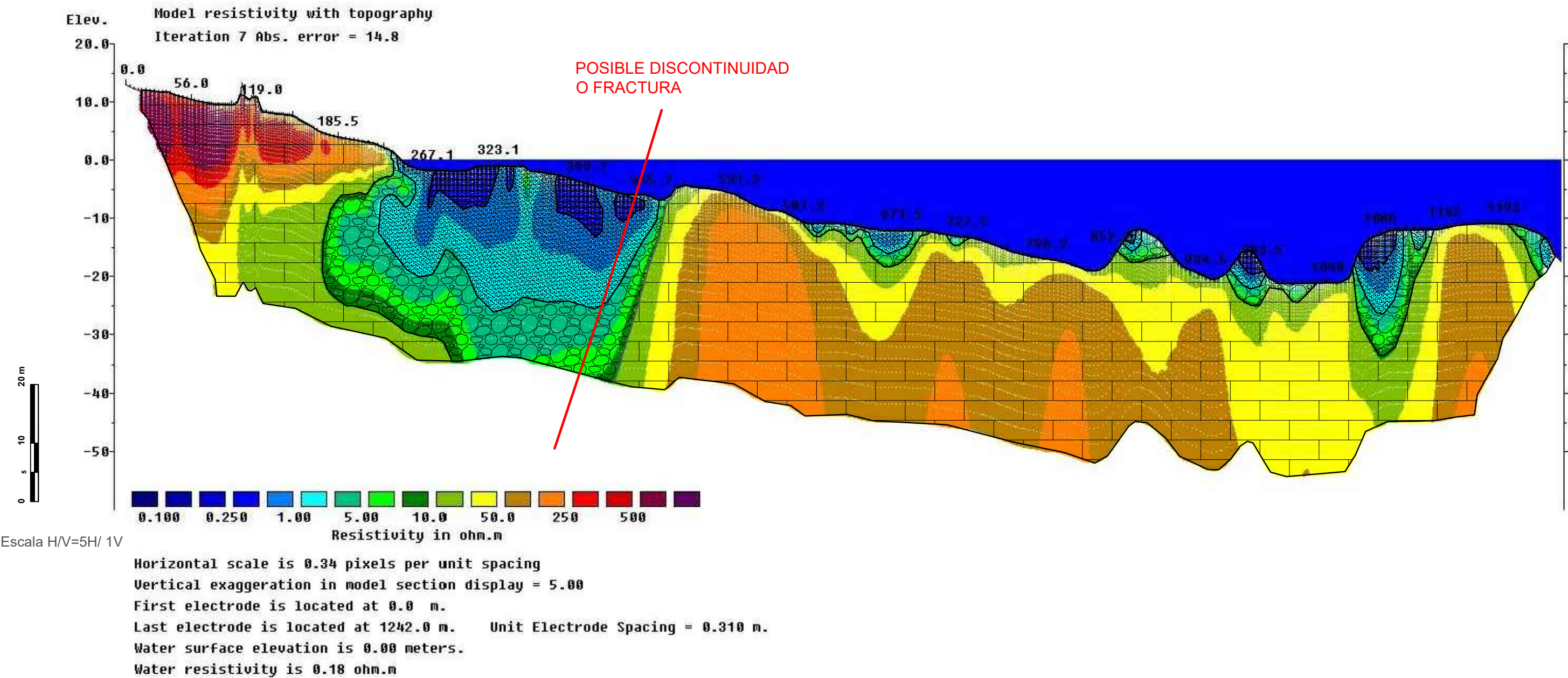


---

## 8. Anexo II: Resultados Tomografía Eléctrica.

Tomografía eléctrica TERRESTRE (ERT2D-T)

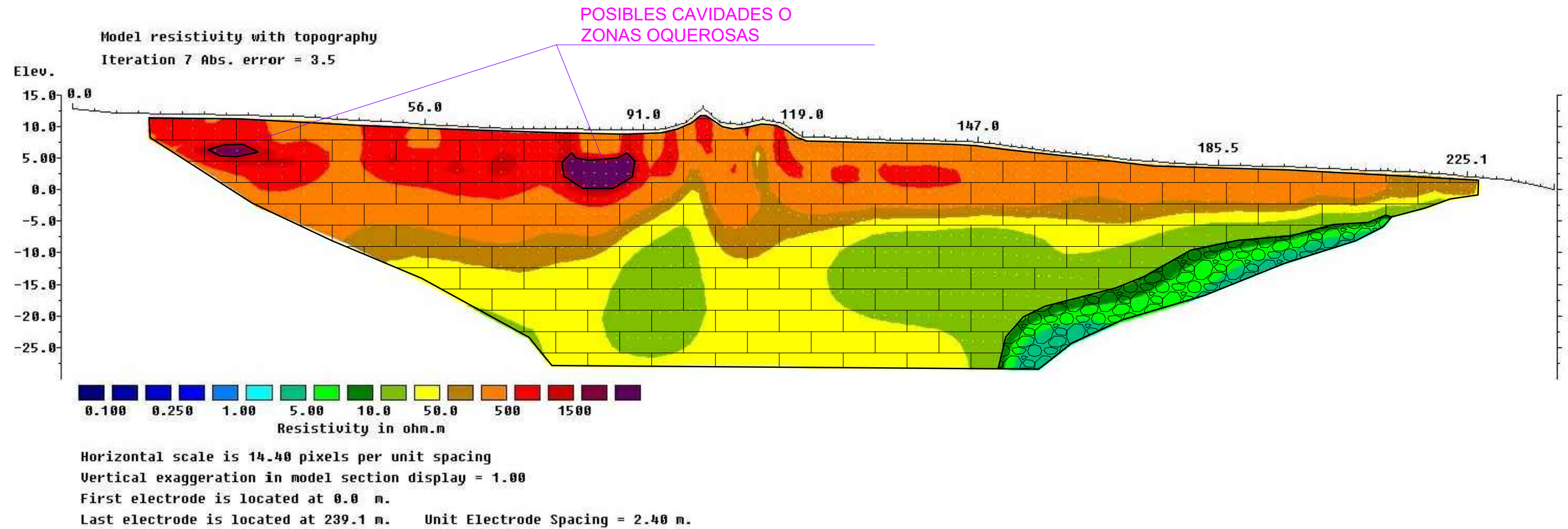
Tomografía eléctrica MARINA (ERT2D-M)



LEYENDA

- Sedimento no consolidado de grano fino a medio saturado de baja compacidad.
- Sedimento no consolidado de grano medio a grueso saturado de compacidad media.
- Sedimento no consolidado de grano grueso saturado, calcarenitas fracturadas y/o sedimento compacto.
- Calcarenitas competentes
- Posibles zonas oquerosas de menor compacidad
- Posibles zona fracturada o discontinuidad

Tomografía eléctrica TERRESTRE (ERT2D-T)

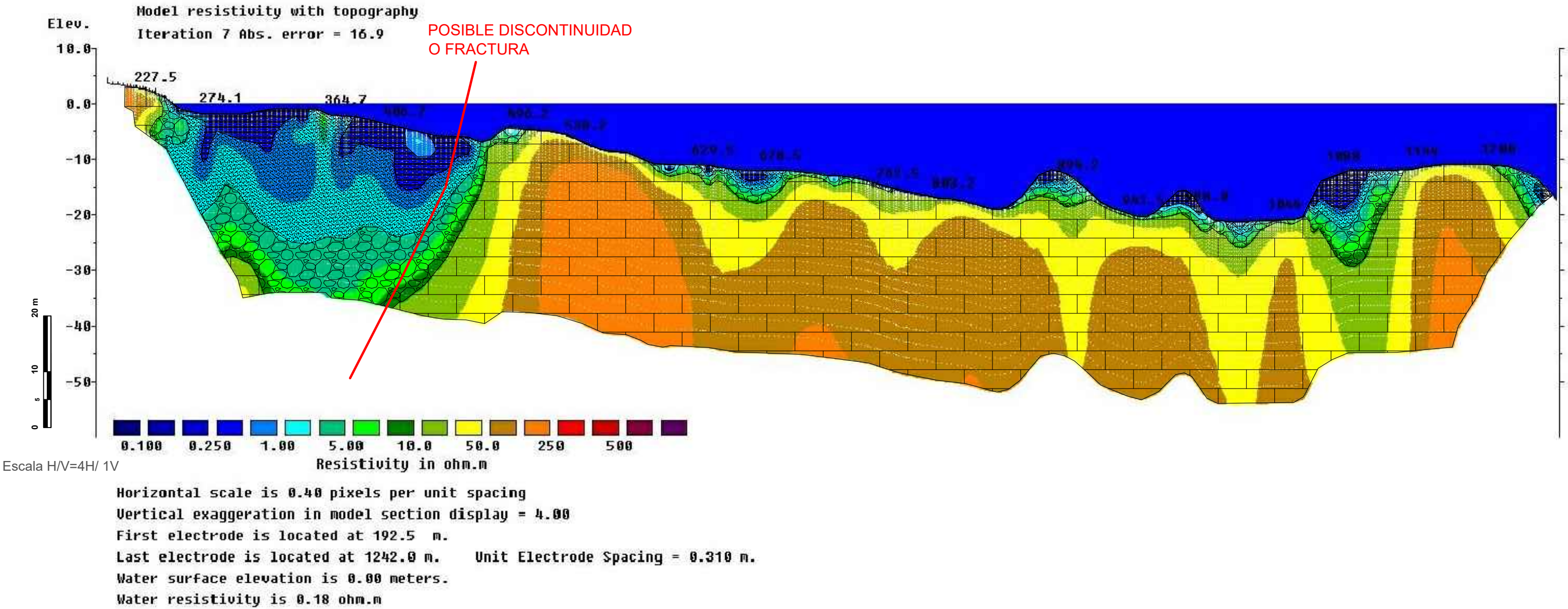


LEYENDA

- Sedimento no consolidado de grano fino a medio saturado de baja compacidad.
- Sedimento no consolidado de grano medio a grueso saturado de compacidad media.
- Sedimento no consolidado de grano grueso saturado, calcarenitas fracturadas y/o sedimento compacto.
- Calcarenitas competentes
- Posibles zonas oquerosas de menor compacidad
- Posibles zona fracturada o discontinuidad



Tomografía eléctrica MARINA (ERT2D-M)



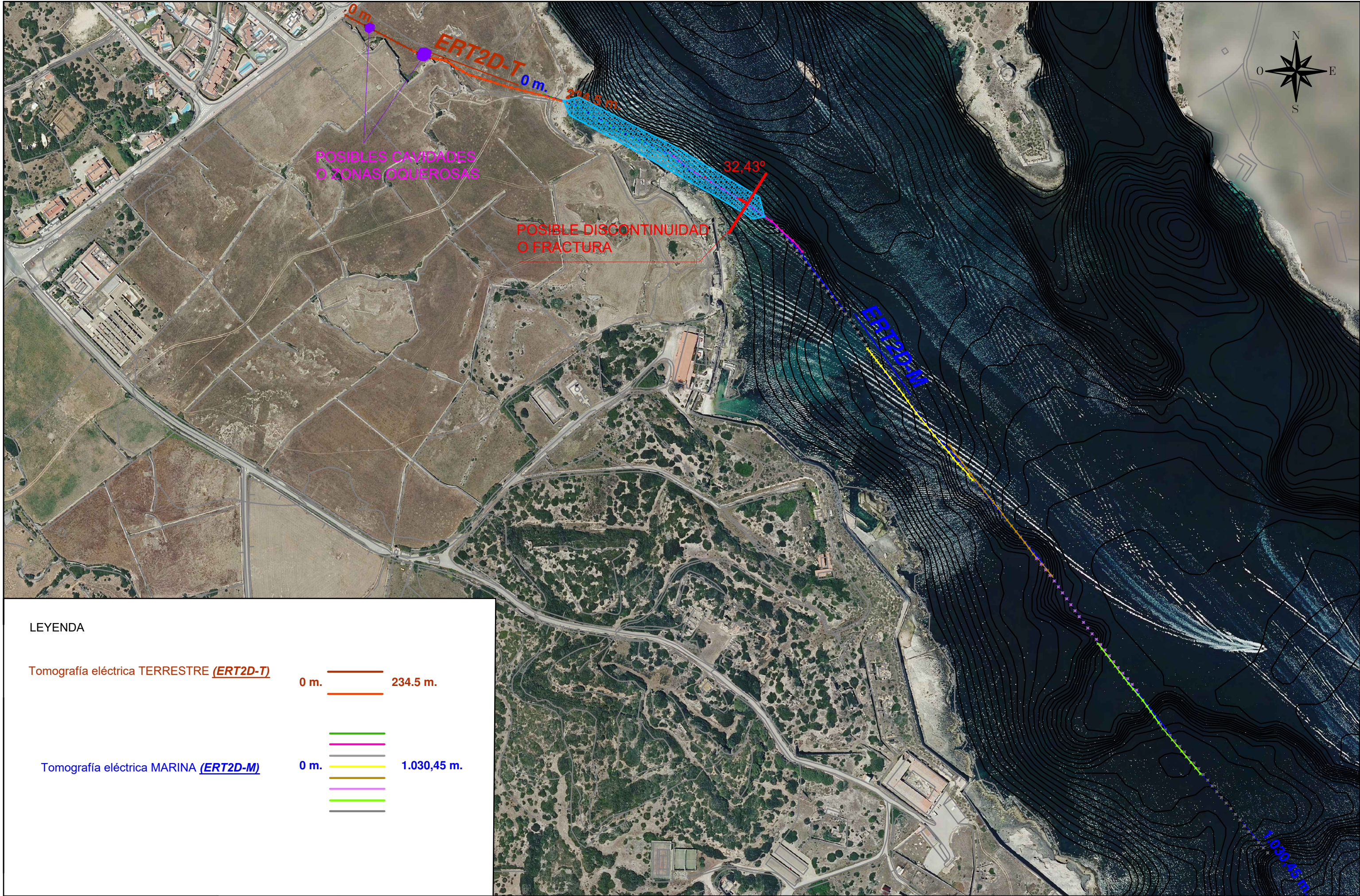
LEYENDA	
- Sedimento no consolidado de grano fino a medio saturado de baja compacidad.	
- Sedimento no consolidado de grano medio a grueso saturado de compacidad media.	
- Sedimento no consolidado de grano grueso saturado, calcarenitas fracturadas y/o sedimento compacto.	
- Calcarenitas competentes	
- Posibles zonas oquerosas de menor compacidad	
- Posibles zona fracturada o discontinuidad	

COMPANÍA CONSULTORA:  C/2 Nueva 32-9 Pol. Horta Vella 46117 BÉTERA, VALENCIA, Tel. 961 82 16 16 - www.geozone.es	COMPANÍA PETICIONARIA: <b>GRADUAL INGENIEROS</b>	AUTORES DEL PROYECTO: <b>TÉCNICOS GEOFÍSICA:</b> JOSÉ ANTONIO ÁLVAREZ (Lic. Geografía) SERGIO AMORES SÁNCHEZ (Ing. geólogo) <b>DELINEANTE:</b> SERGIO AMORES SÁNCHEZ (Ing. geólogo)	ESCALA: Escala 1:700 (A3) Vertical	TÍTULO DEL PROYECTO: ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 2D Y TOMOGRAFÍA MARINA (ERT2D) PARA CARACTERIZACIÓN RESISTIVA DEL SUBSUELO A LO LARGO DE TRAZADO DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA PARA EMISARIO SUBMARINO EN MENORCA (ILLES BALEARS).	TÍTULO DEL PLANO: PERFIL TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA (MARINE)	Nº PLANO: 2.2 FECHA: 01/2023
---	---	---	---------------------------------------	---	---	---------------------------------------

---

## 9. Anexo III: Plano de anomalías en planta.





LEYENDA

- Tomografía eléctrica TERRESTRE (ERT2D-T)
- 0 m. — 234.5 m.
- Tomografía eléctrica MARINA (ERT2D-M)
- 0 m. — 1.030,45 m.



## 10. Anexo V: Reportaje Fotográfico

### Tomografía eléctrica (tramo terrestre)



Tomografía eléctrica (tramo marino)

