

ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE GEO-RADAR 3D MULTIFRECUENCIA, PARA COMPLEMENTAR LOS TRABAJOS GEOLÓGICO/GEOTÉCNICOS PARA INVESTIGAR LAS PATOLOGÍAS EN LA PISCINA DEL MUNICIO DE PERALTA, NAVARRA

Ayuntamiento de Peralta

Madrid, 28de julio de 2021

	Preparado	Revisado	Aprobado
Firma			
Nombre	Víctor Murillo	C.M. Calvo	R. Mínguez
Fecha	22/07/2021	28/07/2021	29/07/2021

ÍNDICE

I. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	3
II. METODOLOGÍA	4
III. TRABAJOS REALIZADOS	7
III.1 Trabajos de campo.....	7
III.2 Trabajos de gabinete	9
IV. RESULTADOS	10
V. CONCLUSIONES Y ALCANCE DE LOS TRABAJOS.....	16

ANEXO A: PLANO DE LOCALIZACIÓN

ANEXO B: PLANO DE GRIETAS

ANEXO C: PLANO DE AMPLITUDES – ZONA DE DESPEGUE DE LA LOSA

ANEXO D: PLANO DE AMPLITUDES – ZONA DE LAVADO EN EL RELLENO GRANULAR

ANEXO E: FOTOGRAFÍAS

I. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

A petición del **Ayuntamiento de Peralta**, **Geofísica Consultores** ha realizado este “**Estudio geofísico mediante Geo-Radar 3D multifrecuencia, para complementar los trabajos geológicos/geotécnicos para investigar las patologías en la piscina del Municipio de Peralta, Navarra**”.

Este estudio mediante geo-radar 3D se localiza en los terrenos de la piscina municipal del municipio de Peralta en Navarra. En concreto la zona investigada ha consistido en el entorno del vaso de la piscina denominada “zona de playa” (ver **Figura 1**).

El objeto de esta investigación mediante geo-radar 3D es localizar posibles patologías tales como huecos, hundimientos, lavados de finos, etc. que justifiquen el estado actual de la zona de playa de la piscina Municipal.



Figura 1. Imagen aérea de la zona de estudio en la piscina municipal de Peralta.

Para estos trabajos se ha utilizado una antena geo-radar 3D multifrecuencia de 12 canales montada en un carro que permite su desplazamiento de forma manual (ver **Figura 2**). Para la referenciación de los datos de geo-radar se ha utilizado un receptor GPS-RTK con precisión centimétrica.

El presente informe recoge los resultados de los trabajos de campo realizados el día 23 de junio de 2021. En base a estos trabajos de campo y al análisis de los datos obtenidos, se presenta este informe.



Figura 2. Detalle del equipo de geo-radar 3D con la antena de 12 canales montada en un carro manual. En la imagen se observa también el receptor GPS montado sobre un jalón.

II. METODOLOGÍA

El funcionamiento del geo-radar consiste en la radiación al terreno de un pulso electromagnético mediante una antena emisora (ver **Figura 3**). Cuando la onda radiada encuentra una heterogeneidad en las propiedades dieléctricas de los materiales del subsuelo, parte de la energía se refleja de nuevo a la superficie y parte se transmite hacia profundidades mayores (ver **Figura 3. Izquierda**). La señal reflejada es captada por la antena receptora que está situada a una distancia fija de la antena emisora, esta distancia es específica para cada tipo de antena. Al desplazar el dispositivo de antenas sobre el terreno y repetir el proceso anteriormente descrito se obtiene una sección en la que se representan tiempos dobles en ordenadas y distancia horizontal en abscisas.

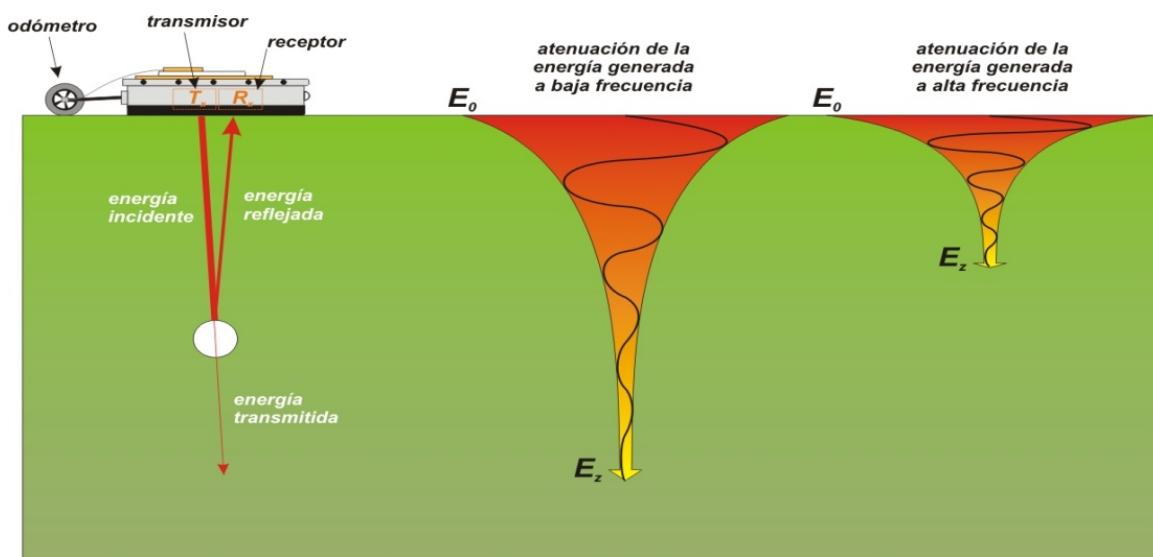


Figura 3. Izquierda. Distribución de la energía generada por una antena de geo-radar (T_x) cuando en el medio de propagación existe una heterogeneidad en la constante dieléctrica. El pulso reflejado es registrado por la antena receptora R_x . **Centro.** Atenuación exponencial de la energía electromagnética de baja frecuencia a medida que aumenta la profundidad de investigación. **Derecha.** Atenuación exponencial de la energía electromagnética de alta frecuencia a medida que aumenta la profundidad de investigación.

Sus ventajas principales son la rapidez en la toma de datos (cada punto de medida se adquiere en pocas fracciones de segundo), su versatilidad (por la posibilidad de intercambiar antenas con diferentes frecuencias) y su carácter no destructivo.

La profundidad de los reflectores puede determinarse conociendo la velocidad de propagación del pulso electromagnético a través del terreno. Para este trabajo se ha estimado una velocidad promedio de transmisión de ondas electromagnéticas de aproximadamente 0,10 m/ns. La elección del rango de frecuencias utilizado en el estudio ha sido función del compromiso entre la resolución y la penetración necesarias, ya que las frecuencias elevadas tienen mayor resolución a poca profundidad, mientras que las bajas frecuencias, tienen mayor penetración pero menor resolución. Es importante resaltar que los pulsos electromagnéticos emitidos por el geo-radar no son capaces de atravesar metales y son fuertemente atenuados por materiales con alto contenido en humedad y/o arcillas.

En este proyecto se ha utilizado un equipo geo-radar tridimensional multifrecuencia con antena de contacto. Los equipos de geo-radar 3D multifrecuencia permiten la elaboración de modelos tridimensionales de alta resolución. Para la ejecución de modelos tridimensionales de geo-radar es necesario adquirir varios perfiles paralelos lo suficientemente próximos entre sí. Los modelos tridimensionales permiten obtener una visión global del medio estudiado, pudiendo visualizar los datos desde múltiples puntos de vista y por tanto delimitar de forma precisa la extensión de las litologías y/o estructuras identificadas.

Otra ventaja de este tipo de antenas de última generación es su sistema *step-frequency* de barrido de frecuencias, que permite la emisión prácticamente simultánea de pulsos electromagnéticos a diferentes frecuencias, cubriendo un ancho de banda mucho más amplio que con las antenas tradicionales (ver **Figura 4**). El rango de frecuencias que puede cubrir esta antena abarca desde 40 hasta 3.000 MHz. Esto permite tener una altísima resolución en las capas más superficiales (proporcionada por las altas frecuencias) y una buena profundidad de investigación (gracias a las bajas frecuencias).

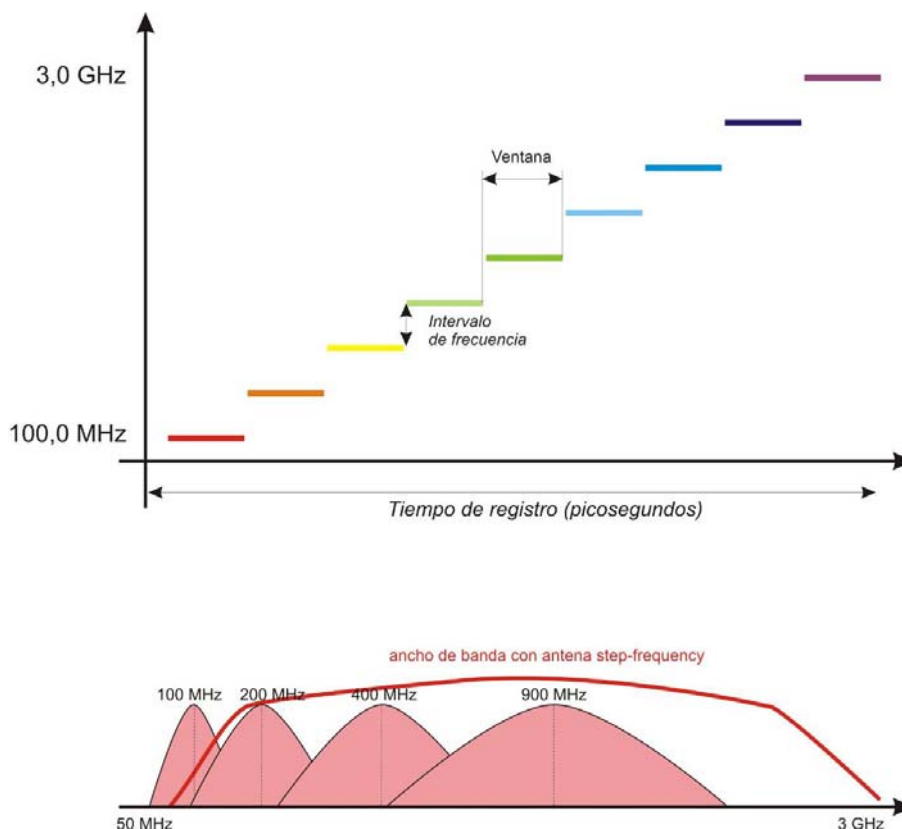


Figura 4. Arriba. Secuencia de escaneo de frecuencias con una antena de geo-radar 3D equipada con la tecnología step-frequency. Abajo. Comparativa de la cobertura de ancho de banda de la antena de geo-radar 3D y la cobertura de cuatro antenas convencionales de geo-radar de 100, 200, 400 y 900 MHz.

La antena de geo-radar 3D utilizada en este estudio está formada por 12 canales independientes, espaciados entre sí a 7,5 cm, por lo que en cada uno de los barridos de la antena 3D se pueden registrar hasta 12 perfiles simultáneos de geo-radar, que proporcionan un modelo tridimensional del terreno. La elección del número de canales a utilizar y la resolución (número de disparos o trazas de geo-radar por unidad de longitud) determinan la velocidad de avance de la antena.

Para la toma de datos, la antena de geo-radar tridimensional se emplaza en una estructura que permite el arrastre de la antena de forma manual. Para forzar que la distancia entre disparos sea la requerida se emplea una rueda odométrica acoplada a la antena. Todo el sistema de

adquisición de datos es controlado mediante un ordenador portátil, el cual permite visualizar en tiempo real la calidad de la información que se está registrando.

Las ventajas principales de este sistema de geo-radar tridimensional son la rapidez en la toma de datos (cada punto de medida se adquiere en pocas fracciones de segundo), su versatilidad (por la posibilidad de emplear simultáneamente un amplio abanico de frecuencias diferentes), la alta resolución de los modelos 3D de geo-radar y su carácter no destructivo.

La adquisición de los datos recogidos por la antena receptora se realiza en formato digital a través de un ordenador portátil y los perfiles de geo-radar son posteriormente procesados en gabinete. El procesado a realizar sobre los datos de geo-radar no es único ni siempre el mismo, pues depende fuertemente del tipo de terreno o estructuras que se quieren analizar, aunque en general consiste en:

- Edición de la geometría de los perfiles.
- Filtrado de los datos.
- Conversión de los tiempos dobles de reflexión, ida y vuelta, a sus profundidades equivalentes según la velocidad estimada.
- Identificación de las reflexiones y del ruido.
- Identificación de anomalías en base a la morfología, amplitud, continuidad y terminación de las reflexiones.
- Integración de la información proporcionada por las cartografías de servicios existentes.

III. TRABAJOS REALIZADOS

III.1 Trabajos de campo

Los trabajos de campo se han concentrado en la investigación de la denominada zona de playa. En concreto esta zona de playa corresponde al área solada que rodea a las dos piscinas (principal e infantil) que componen las instalaciones municipales del Ayuntamiento de Peralta.

Se han realizado medidas con la antena de geo-radar 3D multifrecuencia, cubriendo la máxima superficie posible de las áreas soladas del entorno de ambas piscinas. Además se ha medido un solárium que hay en uno de los fondos (fondo este de la piscina) y las zonas de ducha. En la **Figura 5** se observa cómo se tomaron las medidas con el Geo-Radar 3D multifrecuencia en la zona de playa.



Figura 5. Momento en el que se tomaron las medidas en la zona de playa Geo-Radar 3D multifrecuencia.

La posición de los perfiles se muestra en los planos de localización del **Anexo A**.

El equipo de medida se instaló sobre una estructura móvil que permite desplazar manualmente la antena de geo-radar 3D de manera efectiva. En el barrido de la antena se ha efectuado un ensayo de geo-radar del tipo *standard*, utilizando los 12 canales de la antena, que proporcionan 12 perfiles de geo-radar espaciados cada 7,5 cm.

Los pulsos de geo-radar fueron emitidos utilizando un rango de frecuencias desde 40 MHz hasta 2.984 MHz, con intervalos de 8 MHz, lo que significa que para cada uno de los 12 canales, cada lectura (traza) de geo-radar registrada se obtiene a partir de la composición de 369 pulsos de frecuencias distintas, que son registrados con un equipo multicanal de 16 bits.

En cada uno de los canales utilizados se realizaron lecturas de geo-radar (una traza completa) cada 2,45 centímetros, en la dirección de avance de la antena, que fueron medidos con una rueda odométrica específica adaptada a la antena. Simultáneamente, la posición de los perfiles de geo-radar fue referenciada con un equipo GPS-RTK de precisión centimétrica.

En total se han realizado 84 barridos con la antena, de diferentes longitudes cada uno en función de las dimensiones y posibles obstáculos en la zona de estudio. La longitud total investigada es de 1.510 metros lineales. El área investigada es aproximadamente 1.215 m². Las posiciones de los barridos realizados y los resultados obtenidos con la antena se indican en el **Anexo A y B** respectivamente.

III.2 Trabajos de gabinete

Los trabajos de gabinete han consistido en el procesado de los datos geofísicos obtenidos en campo, el análisis de los datos para la identificación de anomalías, la realización de planos de posicionamiento y resultados y en la elaboración de este informe. A continuación se enumeran y detallan algunas de las fases más importantes del procesado de datos para la técnica utilizada en el presente estudio.

1.- Importación y edición de la posición y geometría de los perfiles:

Se transfieren los archivos de datos brutos al software de procesado y se corrigen las eventuales pérdidas temporales de cobertura de la señal de GPS. La corrección de este efecto se realiza aplicando a los datos desviados un algoritmo de interpolación sobre la trayectoria válida seguida por la antena antes y después de la pérdida de cobertura, y teniendo en cuenta las distancias reales recorridas entre trazas, que son medidas por la rueda odométrica adaptada al equipo de geo-radar.

2.- Filtrado de los datos y aplicación de ganancias:

El objetivo es poder resaltar los reflectores de interés para el estudio, permitiendo identificarlos y distinguirlos del ruido.

3.- Conversión de los tiempos dobles a profundidades:

El geo-radar mide el tiempo (en nanosegundos) que transcurre entre la salida del pulso de la antena, realizando ecos o reflexiones y volviendo el pulso a la antena, por lo que para transformar los tiempos en profundidades equivalentes es necesario conocer o estimar la velocidad de transmisión del pulso de geo-radar en cada medio. Para este estudio se ha considerado una velocidad promedio de 0,10 m/ns. Una vez que se obtiene la velocidad, los tiempos dobles de reflexión, ida y vuelta, se transforman a profundidades equivalentes.

4.- Identificación de anomalías:

Se identifican visualmente aquellas zonas anómalas que puedan tener relación con las patologías que sufre el entorno de las piscinas.

IV. RESULTADOS

Este estudio tiene como objetivo es la localización de posibles anomalías (huecos, deformaciones, lavado de finos, etc.) en la “zona de la playa” que rodea el vaso de ambas piscinas, que puedan tener relación con las patologías existentes en la piscina municipal de Peralta, Navarra.

Tras analizar las 84 pasadas realizadas con la antena de geo-radar, con los que se ha alcanzado una profundidad efectiva de investigación entre 1,0 y 1,2 metros, se ha identificado la siguiente estructura tipo, según se muestra en la **figura 6**, que se compone de las siguientes capas:

- Losetas cerámicas de unos 5 cm de espesor (línea discontinua de color naranja).
- Hormigón de generalmente 20cm de espesor (línea fina de color azul) que puede en algunas zonas puntuales alcanzar los 30 cm (zona de las duchas). Esta capa de hormigón presenta un nivel de mallazo (línea discontinua de color rojo) que se sitúa generalmente a profundidades de entorno a los 20 cm.
- Relleno granular, por debajo del hormigón que puede tener un espesor de entre 30 y 50 cm.
- Terreno natural, a una profundidad de entre 0,7 y 0,9 metros se aprecia una intensa atenuación de la señal. Esta atenuación marca probablemente el tránsito a un material menos granular y con mayor proporción de finos, que se interpreta como terreno natural.

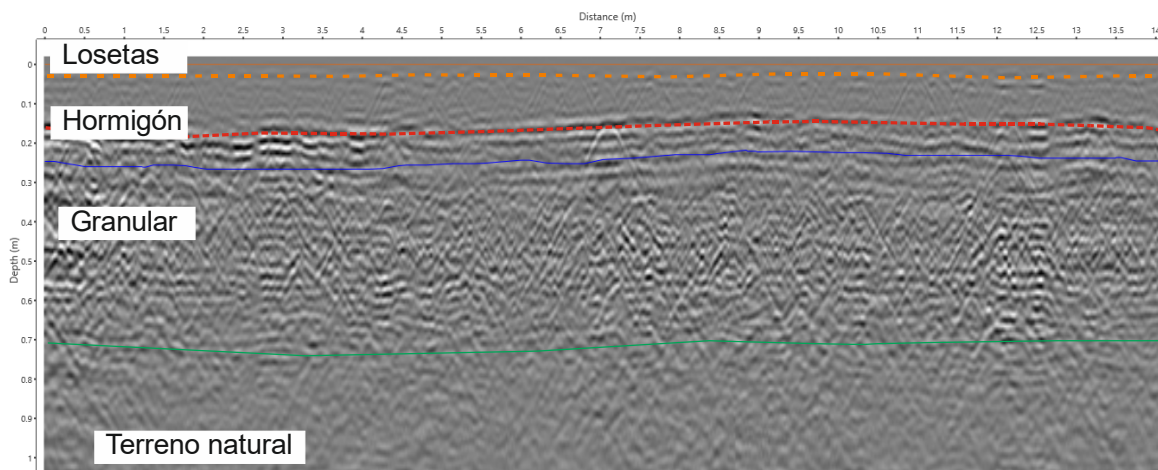


Figura 6. Radargrama interpretado que muestra la estructura tipo de capas identificada en el entorno de la piscina.

Teniendo en cuenta la estructura tipo identificada con el geo-radar, las posibles anomalías que podrían ser identificables con el uso del geo-radar y que podrían estar relacionadas con las patologías que afectan a la playa de la piscina se recogen en los planos de resultados y se describen a continuación.

Grietas que afectan a la capa de hormigón.

En el plano de anomalías del anexo B, se han marcado mediante líneas de color roja la ubicación de varias grietas identificadas en la capa de hormigón. En este plano únicamente se han marcado aquellas grietas que parecen atravesar completamente la capa de hormigón.

En la **figura 7** se muestra un ejemplo de una de las grietas identificadas en el lado sur de la piscina. Como se puede apreciar en el radargrama la presencia de grieta genera una serie de reflectores hiperbólicos en el interior de la capa de hormigón, que crea una discontinuidad que corta completamente la losa. Además, otra característica que se ha podido observar en mayor parte de las grietas es la aparición de reflectores hiperbólicos de alta amplitud situados por debajo de la losa, lo que indica un proceso de lavado de material por debajo de la losa, probablemente producido por filtraciones a través de la grieta.

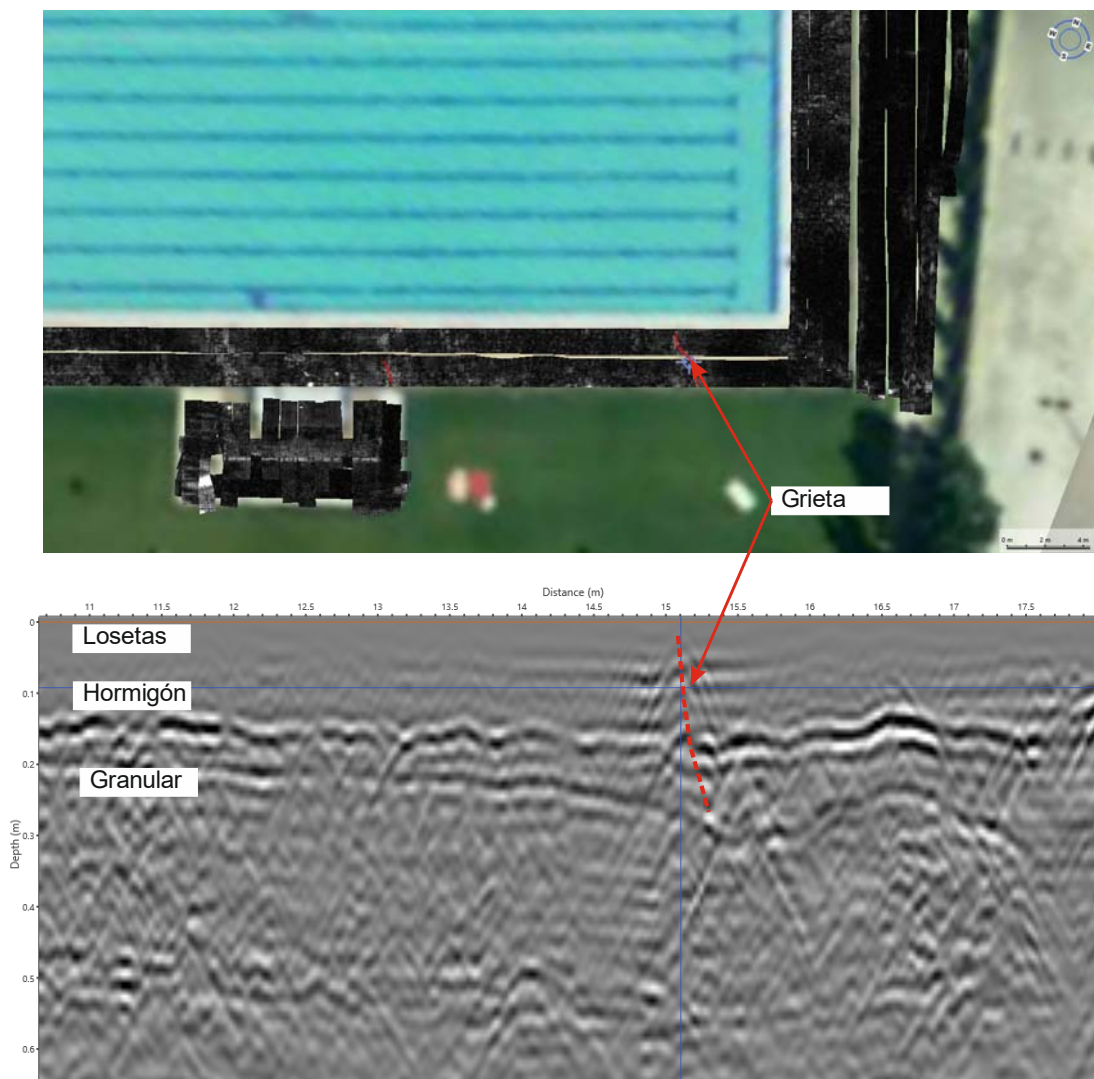


Figura 7. Arriba: Planta de modelo de geo-radar obtenida a una profundidad de unos 10 cm en el que se marcan mediante líneas de color rojo la posición de dos de las grietas identificadas en la capa de hormigón. **Abajo:** Radargrama en el que se aprecian los reflectores hiperbólicos que se producen en el entorno de la grieta.

A parte de estas grietas no se han identificado otros defectos reseñables en la capa de hormigón.

Despegues por debajo de la losa de hormigón

La siguiente zona en la que se pueden identificar anomalías que puedan estar relacionadas con las patologías que afectan a la playa es la presencia de despegues o incluso la presencia de pequeños huecos situados justo por debajo de la losa de hormigón. Para una mejor identificación de estas zonas se ha realizado un mapa de la intensidad de la amplitud de la señal de geo-radar justo en la zona situada en el entorno de la base la losa de hormigón (**Anexo B**). Para ello se ha marcado de forma aproximada este límite (**Figura 6** línea color azul) en todos los perfiles de geo-radar calculando la cantidad de energía que devuelve esta interfase en el entorno de 5cm por arriba y por debajo de este límite. De esta forma este mapa marcará mediante colores rojos (calores altos de amplitud) aquellas zonas con más probabilidad de presentar despegues, mientras que las zonas de colores azules oscuros serán las zonas con menor probabilidad de presentar despegues.

En la **Figura 8** se muestra un ejemplo del tipo de señal que caracteriza las zonas de baja amplitud (baja probabilidad de contener despegues) y las zonas de alta amplitud que serán aquellas zonas con mayor probabilidad de contener despegues.

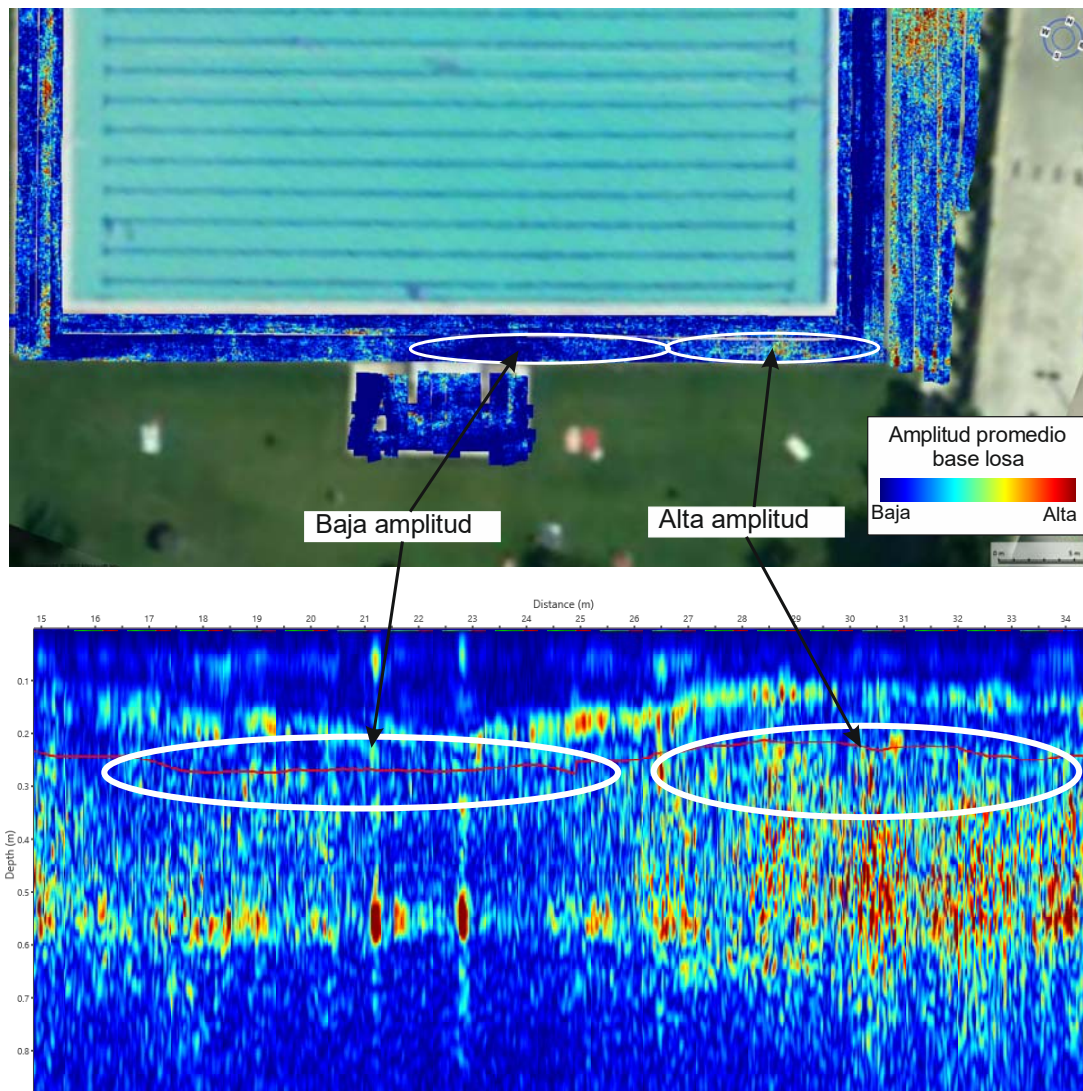


Figura 8. Arriba: Planta de modelo de geo-radar obtenida a una profundidad de unos 10 cm en el que se marcan mediante líneas de color rojo la posición de dos de las grietas identificadas en la capa de hormigón. Abajo: Radargrama en el que se aprecian los reflectores hiperbólicos que se producen en el entorno de la grieta.

Posibles zonas de lavados en el relleno granular

De manera análoga a la seguida para la identificación de zonas de despegues bajo la losa, se ha realizado un mapa de intensidad de la reflexión a una profundidad de 50cm realizando un promedio con un radio de búsqueda de 10cm (**Anexo B**). En estos mapas las zonas de mayor amplitud marcarán zonas de mayor porosidad dentro del relleno granular. Esta mayor porosidad puede indicar la presencia de procesos de lavado de material en estas zonas.

En la **Figura 9** se muestra un ejemplo del tipo de señal que caracteriza las zonas de baja porosidad (baja amplitud colores azules) y las zonas de alta porosidad (alta amplitud colores rojos) que serán aquellas zonas con mayor probabilidad de presentar procesos de lavados de finos.

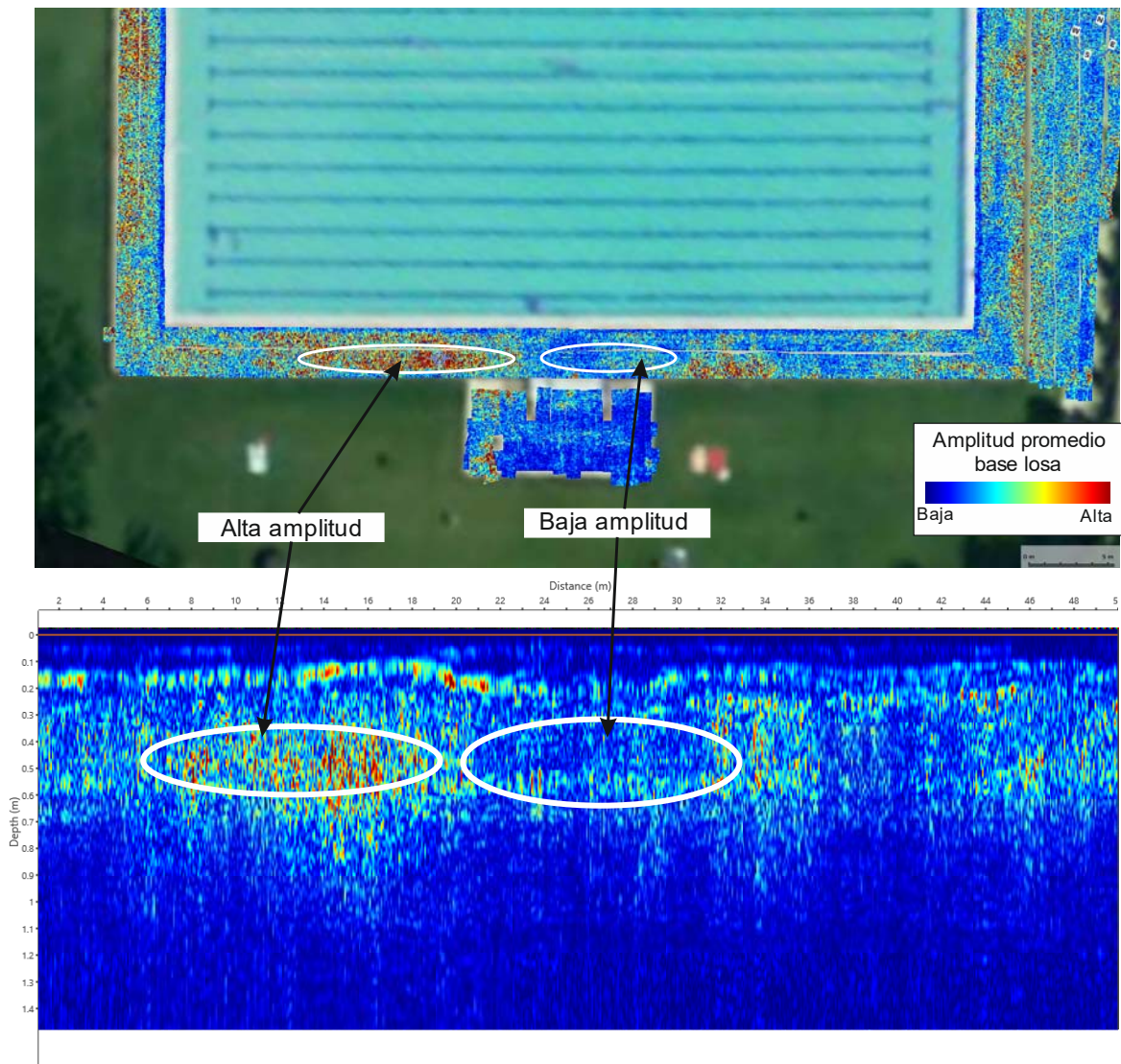


Figura 9. Arriba: Planta de modelo de geo-radar obtenida a una profundidad de unos 10 cm en el que se marcan mediante líneas de color rojo la posición de dos de las grietas identificadas en la capa de hormigón. **Abajo:** Radargrama en el que se aprecian los reflectores hiperbólicos que se producen en el entorno de la grieta.

En la zona de la sala de máquinas y el vaso de compensación de la piscina, se aprecia claramente en el geo-radar el cambio de patrón de armadura, que es típico de forjados. En la **Figura 10** se puede ver un detalle del tipo de señal que caracteriza el forjado de la sala de máquinas, en el que incluso se pueden identificar las viguetas.

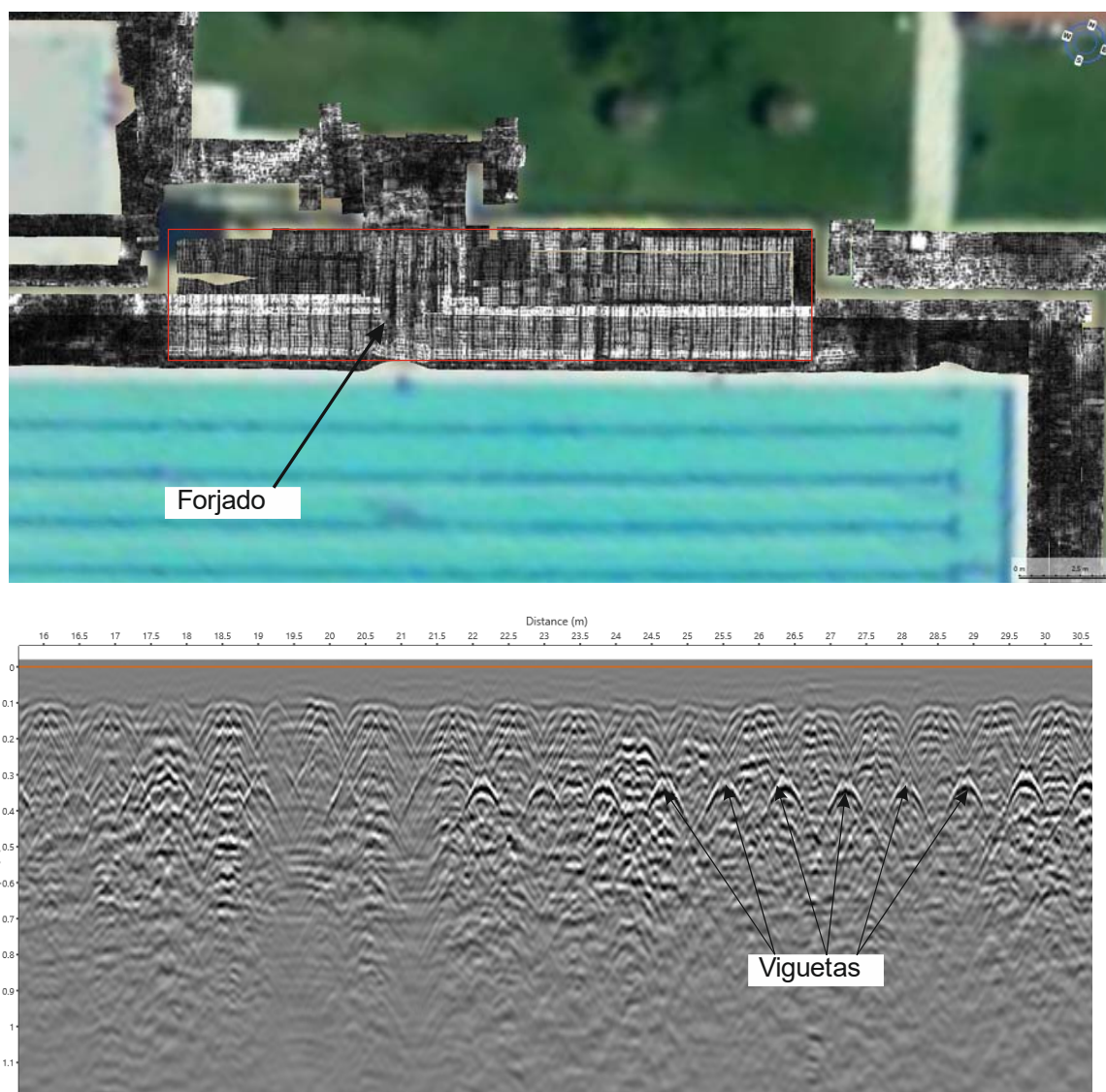


Figura 10. Arriba: Imagen de geo-radar tomada a una profundidad de 20 cm donde se observa la diferente distribución de la armadura del forjado de la sala de máquinas. **Abajo:** Radargrama de ejemplo del patrón de reflectividad que presentan la zona del forjado, en el que incluso se aprecian las viguetas del techo.

V. CONCLUSIONES Y ALCANCE DE LOS TRABAJOS

Tras el análisis de los resultados obtenidos y para valorar los trabajos realizados es muy importante tener en cuenta las siguientes conclusiones y consideraciones:

1. En los más de 1.200 m² inspeccionados con geo-radar con una densidad de datos de más de 530 puntos por metro cuadrado, no se ha identificado ningún hueco de dimensiones decimétricas o métricas, hasta la profundidad efectiva de investigación que se estima en entre 1,0 y 1,2 metros.
2. En el mapa de amplitudes realizado a una profundidad de 0,5 metros, coincidiendo con la parte central del relleno granular permite identificar que zonas del relleno granular presentan una mayor porosidad y por tanto son zonas que pueden estar sometidas a un proceso de lavado de finos, que podría tener relación con las deformaciones observadas en la zona de playa.
3. En el mapa de amplitudes realizado para el entorno de la base la solera de hormigón marca las zonas con mayor probabilidad de sufrir despegues. La presencia de despegues bajo la losa son un claro indicio de problemas de capacidad portante del terreno, ya que la losa tiene una rigidez relativamente mucho más alta que el terreno granular situado por debajo, por lo tanto las zonas con mayor probabilidad de sufrir despegues (valores altos de amplitud, colores rojos) marcarán zonas en las que probablemente el terreno situado por debajo de la losa este asentando.
4. En general el estado interno de la losa de hormigón es bueno, habiéndose detectado únicamente 6 grietas que atraviesan completamente la losa de hormigón y su armadura (ver plano de anomalías Anexo B).
5. Los resultados presentados en este informe son aplicables únicamente a las ubicaciones de los perfiles y hasta la profundidad máxima de investigación alcanzada en cada caso en el momento de la adquisición de los datos (día de junio de 2021)

Madrid, a 28 de julio de 2021



Fdo.: Víctor Murillo Martín
Ingeniero Geólogo



Fdo.: Carlos M. Calvo Martínez
Geólogo
Colegiado nº 3595



Fdo.: Raúl Mínguez Maturana
Geólogo
Colegiado nº 3483

ANEXO A

PLANO DE LOCALIZACIÓN

ANEXO B

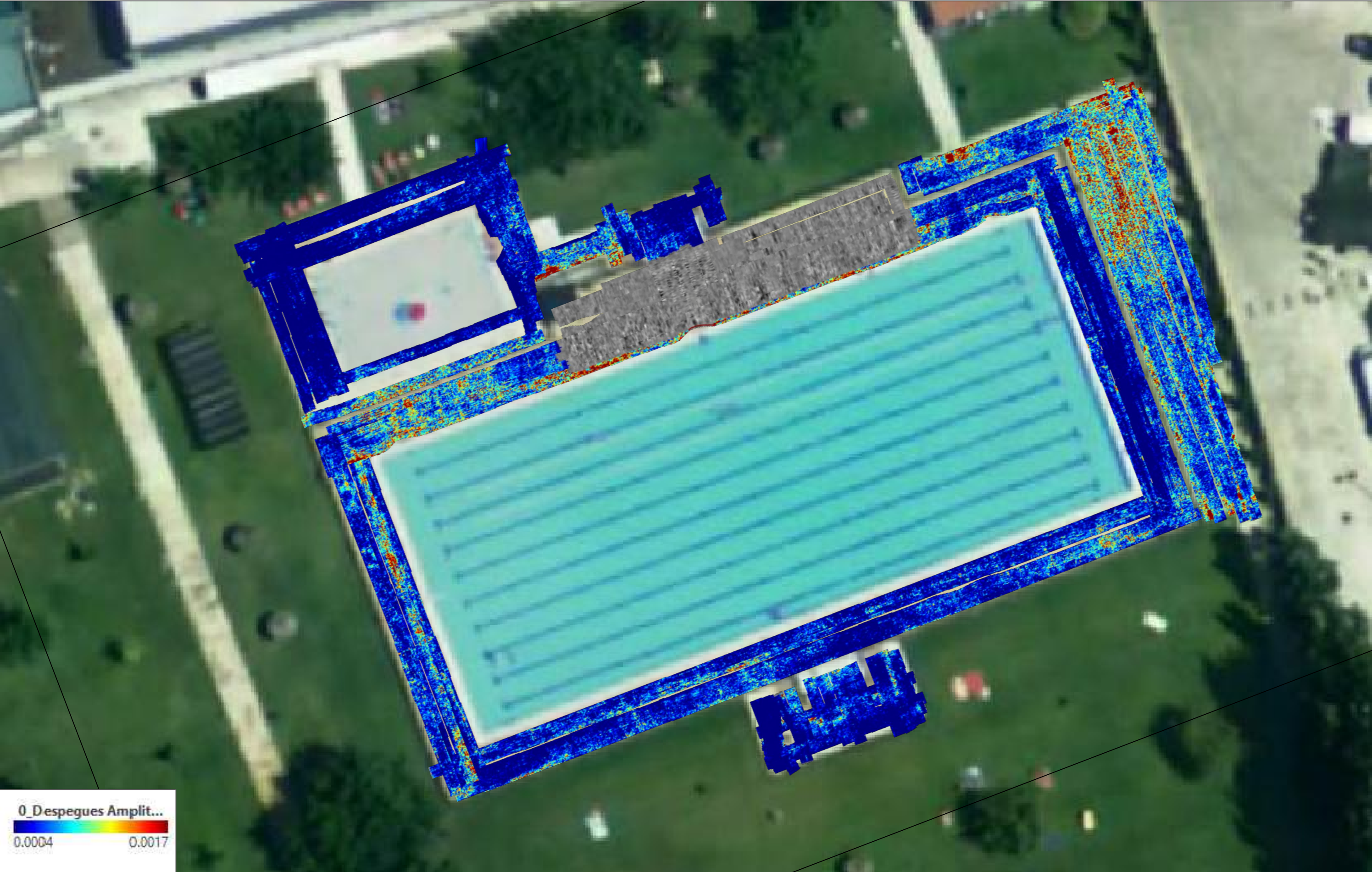
PLANO DE GRIETAS



 GRIETA

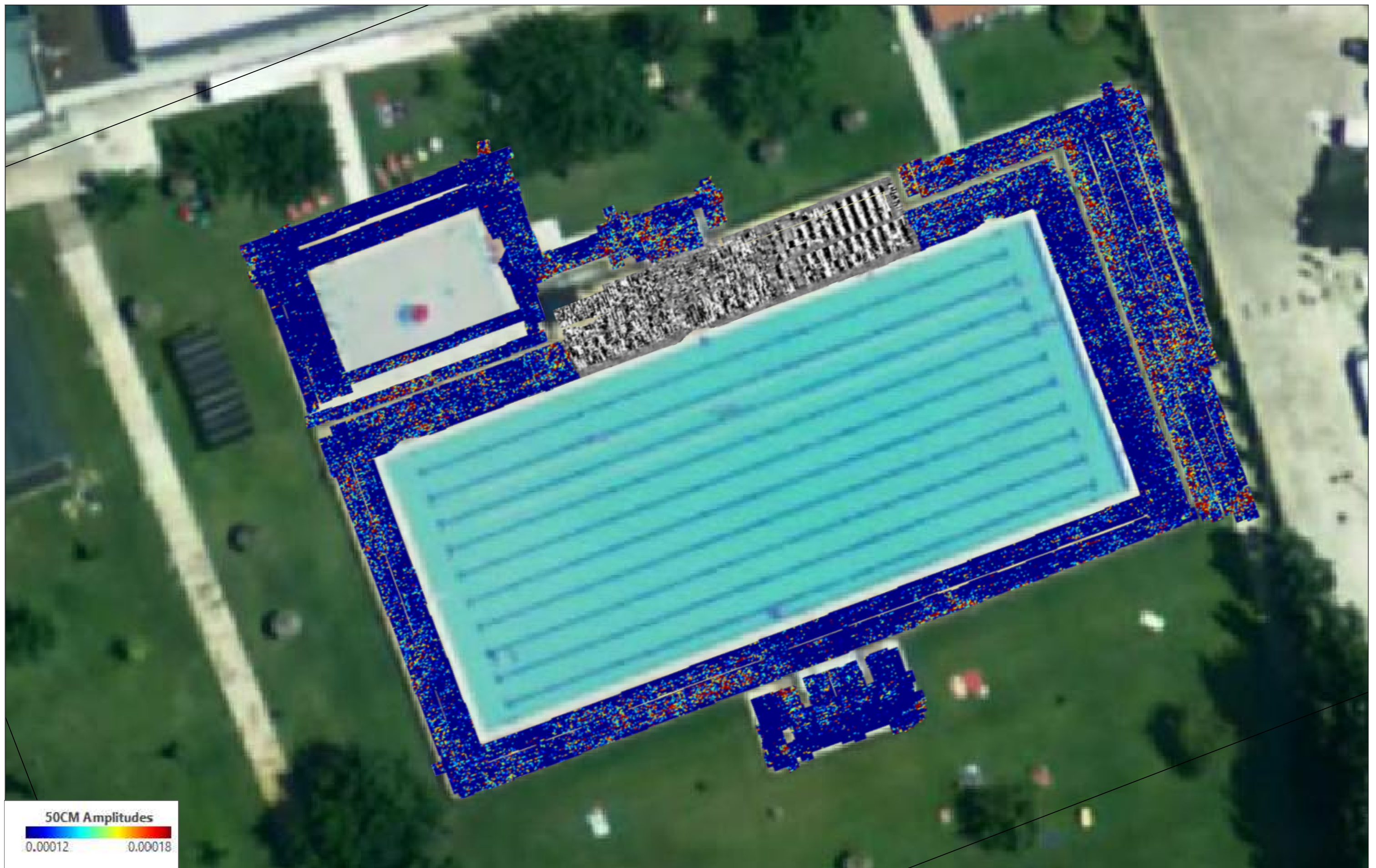
PROYECTO	CLIENTE	CONSULTOR	TÍTULO DEL PLANO	ESCALA	FECHA
ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE GEO-RADAR 3D MULTIFRECUENCIA, PARA COMPLEMENTAR LOS TRABAJOS GEOLOGIVO/GEOTÉCNICOS PARA INVESTIGAR LAS PATOLOGÍAS EN LA PISCINA DEL MUNICIPIO DE PERALTA, NAVARRA.	AYUNTAMIENTO DE PERALTA		PLANO DE GRIETAS	DIN A3 1:250	JULIO 2021
				0 2,5 5 7,5 10 metros	NÚMERO DE PLANO
					B-1

ANEXO C
PLANO DE AMPLITUDES
ZONAS DE DESPEGUE DE LA LOSA



PROYECTO	CLIENTE	CONSULTOR	TÍTULO DEL PLANO	ESCALA	FECHA
ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE GEO-RADAR 3D MULTIFRECUENCIA, PARA COMPLEMENTAR LOS TRABAJOS GEOLOGIVO/GEOTÉCNICOS PARA INVESTIGAR LAS PATOLOGÍAS EN LA PISCINA DEL MUNICIPIO DE PERALTA, NAVARRA.	AYUNTAMIENTO DE PERALTA		PLANO DE AMPLITUDES BASE DESPEGUE	DIN A3 1:250	JULIO 2021
				0 2,5 5 7,5 10 metros	NÚMERO DE PLANO C-1

ANEXO D
PLANO DE AMPLITUDES
ZONAS DE LAVADO EN EL RELLENO GRANULAR



PROYECTO	CLIENTE	CONSULTOR	TÍTULO DEL PLANO	ESCALA	FECHA
ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE GEO-RADAR 3D MULTIFRECUENCIA, PARA COMPLEMENTAR LOS TRABAJOS GEOLOGICO/GEOTÉCNICOS PARA INVESTIGAR LAS PATOLOGÍAS EN LA PISCINA DEL MUNICIPIO DE PERALTA, NAVARRA.	AYUNTAMIENTO DE PERALTA		PLANO DE AMPLITUDES 50 CM	DIN A3 1:250	JULIO 2021
					NÚMERO DE PLANO
					D-1

ANEXO E

FOTOGRAFIAS



Foto 1.- Geo-Radar 3D multifrecuencia utilizado.



Foto 2.- Toma de datos.

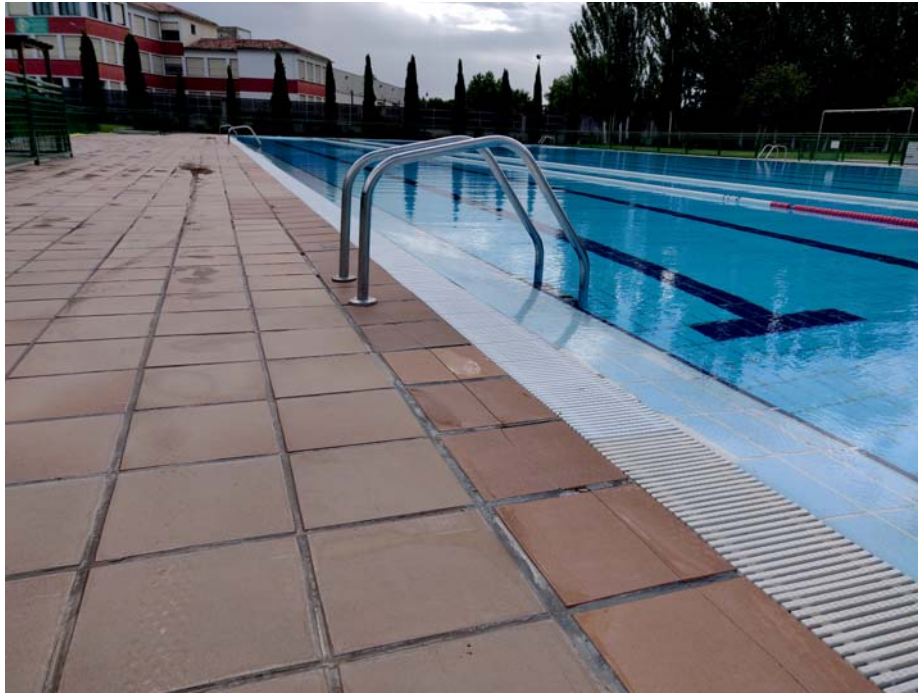


Foto 3.- Hundimiento y roturas en la zona de playa.