



Universidad de Oviedo

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA EN EL ÁMBITO DEL ESTADIO MUNICIPAL CARLOS TARTIERE (OVIEDO/UVIÉU)

MÁSTER EN RECURSOS GEOLÓGICOS E INGENIERÍA GEOLÓGICA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

IYÁN GONZÁLEZ CASTRO

Julio de 2015

Agradecimientos

Per aciu d'estes llínies quixere dar les más fonderes gracias a Luis Alberto Pando González y Javier Olona Allué pola direición d'esti trabayu; pol bon facer, pola paciencia, polos consejos, pol encontu y pola confianza.

A Carlos López Fernández, pola disponibilidá, pola efectividá, pola representación institucional y pola so cercanía.

A Jorge Gallástegui Suárez, Luis M. Díaz Díaz y Pelayo Fernández Álvarez por sacrificar el so valiosu tiempu n'echar un cable -nunca meyor dicho-.

Al Conceyu d'Uviéu y al Real Oviedo S.A.D., polos permisos d'accesu y les facilidaes pa desendolcar esti estudiu.

A les responsables del Archivu Municipal d'Uviéu, pola so eficacia nel llabor de documentación.

A Juan Carlos Menéndez Fernández, responsable municipal de Parques y Xardines, y al restu del personal al cargu del mantenimientu del tarrén de xuegu, pola información aportada.

A José Luis Rebordinos y a La Nueva España, pol fondu documental de semeyes del área d'estudiu.

Índice

1. Resumen / Abstract.....	3
2. Introducción	4
2.1 Zona de Estudio	5
2.2 Geografía y ortofotografía	7
2.3 Justificación y antecedentes.....	8
2.3.1 Problemática en el campo de fútbol.....	9
2.4 Marco geológico	11
2.4.1 Generalidades.....	11
2.4.2 Estratigrafía.....	13
2.4.3 Estructura	18
2.4.4 Hidrogeología.....	19
2.4.5 Geomorfología	21
2.4.6 Sismicidad	22
3. Metodología	23
3.1 Fase de documentación	24
3.2 Trabajo de campo.....	25
3.2.1 Reconocimiento del área de estudio.....	25
3.2.2 Observaciones dentro del Estadio Municipal Carlos Tartiere	25
3.2.3 Otras observaciones de tipo geomorfológico.....	25
3.3 Revisión histórica de la removilización de tierras (GIS).....	26
3.4 Geofísica – Tomografía Eléctrica	27
3.4.1 Fundamentos teóricos	27
3.4.2 Adquisición de datos.....	32
3.4.3 Procesado de datos	35
3.4.4 Significado geológico de la resistividad eléctrica	36
4. Resultados y discusión	37
4.1 Valoración de la documentación consultada	37
4.1.1 Trabajos de documentación bibliográfica.....	37
4.1.2 Informe Geotécnico (Archivo Municipal de Oviedo/Uviéu).....	38
4.1.3 Información Parques y Jardines.....	43
4.2 Resultados del trabajo de campo	46
4.2.1 Reconocimiento geológico del área de estudio	46
4.2.2 Observaciones de tipo geomorfológico.....	52
4.2.3 Observaciones dentro del estadio municipal	56

4.3	Representación en GIS de la removilización histórica de tierras.....	62
4.4	Interpretación de las líneas de tomografía eléctrica obtenidas.....	71
5.	Conclusiones	77
6.	Bibliografía	79
7.	Anexos	81

1. Resumen / Abstract

El presente estudio está realizado en la ciudad de Oviedo/Uviéu, capital del Principado de Asturias y en él se hace una caracterización geológica y geotécnica en el ámbito del Estadio Municipal Carlos Tartiere.

La zona de estudio está en un enclave urbano que, al menos desde el siglo XV hasta bien avanzado el siglo XX fue una cantera de calizas, arenas y posteriormente una fábrica de tejas, por lo que ha venido sufriendo intensas modificaciones morfológicas hasta llegar a su estado actual. Su uso como solar para construir un equipamiento deportivo de primer nivel ha suscitado en los últimos años problemas debido a las complicaciones derivadas del contexto geológico-geotécnico tales como surgencias de agua que afectan al terreno de juego, inestabilidad de laderas o asientos diferenciales.

La geología de la zona se caracteriza por la sucesión –de muro a techo– de la Fm. San Lázaro (calizas), Fm. La Argañosa (arenas, gravas, limos y arcillas) y Fm. Oviedo (calizas) del Cretácico Superior comprendidas entre el Turoniense y el Coniaciense, estando cimentado el Estadio Municipal en la Fm. La Argañosa, que es la que presenta más problemas por sus características geotécnicas e hidrogeológicas.

Se realiza una revisión bibliográfica de publicaciones, así como de la investigación geotécnica desarrollada antes del comienzo de las obras del estadio, para caracterizar geológicamente la zona. También se realiza un reconocimiento de campo de las características geomorfológicas del entorno y la presencia de humedades, surgencias y asientos diferenciales en el equipamiento deportivo.

Como método para reconstruir la historia de removilización de tierras en un enclave urbano tan cambiante a lo largo de los años se realiza un estudio comparativo por medio de GIS de las variaciones del relieve desde finales de los años 60 hasta la actualidad que permite determinar qué zonas sufrieron excavación y cuáles relleno y las relaciones con el medio geológico que se establecen con la construcción del estadio municipal.

Por último, se realiza una campaña geofísica de tomografía eléctrica en el mismo césped del estadio mediante la obtención e interpretación de cinco líneas que permiten disponer de datos del subsuelo bajo el que está construido; todo ello para caracterizar el relleno efectuado, el espesor de la Fm. La Argañosa en este enclave y establecer la profundidad, estructura y otras características del contacto entre las arenas de dicha formación y las calizas de la Fm. San Lázaro.

Finalmente, se integran los datos bibliográficos, los obtenidos en campo y los geofísicos para realizar unos cortes característicos del área de estudio.

Abstract.

The present study is written in the city of Oviedo/Uviéu, the capital of the Principality of Asturias and in it a geological and geotechnical characterization of the setting of the Municipal Stadium Carlos Tartiere was made.

The study area is an urban location that, at least since the 15th century far advanced the 20th century was a limestone quarry and then a sand one, so it has been suffering intense morphological modifications until reaching its current state. Its use as a solar to build a first class sports equipment has recently attracted problems due to complications arising from the geological-geotechnical context such as upwelling of water that affects the field, unstable slopes or differential seats.

The geology of the area is characterized by the succession -from the bottom to the top- of San Lázaro Formation (limestones), La Argañosa Formation (sands, gravels, silts and clays) and Oviedo Formation (limestones) from the upper Cretaceous ranging between Turoniense and the Coniacian, being built the stadium in La Argañosa Formation, which presents more problems due to their geotechnical and hydrogeological characteristics.

A review of publications, as well as geotechnical project prepared before the beginning of the works of the stadium, to characterize geologically the area takes place. A recognition of the geomorphological characteristics of the environment and the presence of moisture, upwelling water and differential seats in the sports equipment is also made.

As a method to rebuild the history of remobilization of lands in a rapidly changing urban location over the years is carried out a comparative study by means of GIS of topographies from end of the sixties to the present day, obtained by LiDAR technology, which enables to determine which areas suffered excavation and which filling and relations with the geological environment established in the construction of the stadium.

Eventually, a geophysical campaign of electrical tomography is made, carried out on the same lawn of the stadium through the collection and interpretation of five lines that provide data of low subsoil that is built to characterize effected filling/done filling, the thickness of La Argañosa Formation in this area and set the depth, structure and other characteristics of the contact between the sands of this formation and limestones of San Lazaro Formation.

Finally, bibliographic data, obtained in field data and geophysic data, are integrated to make some cross sections that characterize the studied area.

2. Introducción:

2.1 Zona de Estudio

La zona de estudio de este Trabajo Fin de Máster está localizada en la ciudad de Oviedo/Uviéu, capital del Principado de Asturias, más concretamente en el barrio de La Ería/La Iría, en el extremo más occidental del núcleo urbano, al pie de la sierra del Naranco (Fig.2.1).



Figura 2.1: Localización de la Zona de Estudio: Estadio Carlos Tartiere (Oviedo/Uviéu). Fuente: Google Images.

Está limitada, al sur y oeste, por la calle Ricardo Vázquez Prada; al este por la calle Virgilio Palacio y la calle Fraternidad y al norte por el Parque del Oeste (Fig.2.2) y actualmente esta área está ocupada por el Estadio Municipal Carlos Tartiere, que alberga cada quince días un encuentro del Real Oviedo S.A.D, con asistencia de miles de espectadores.

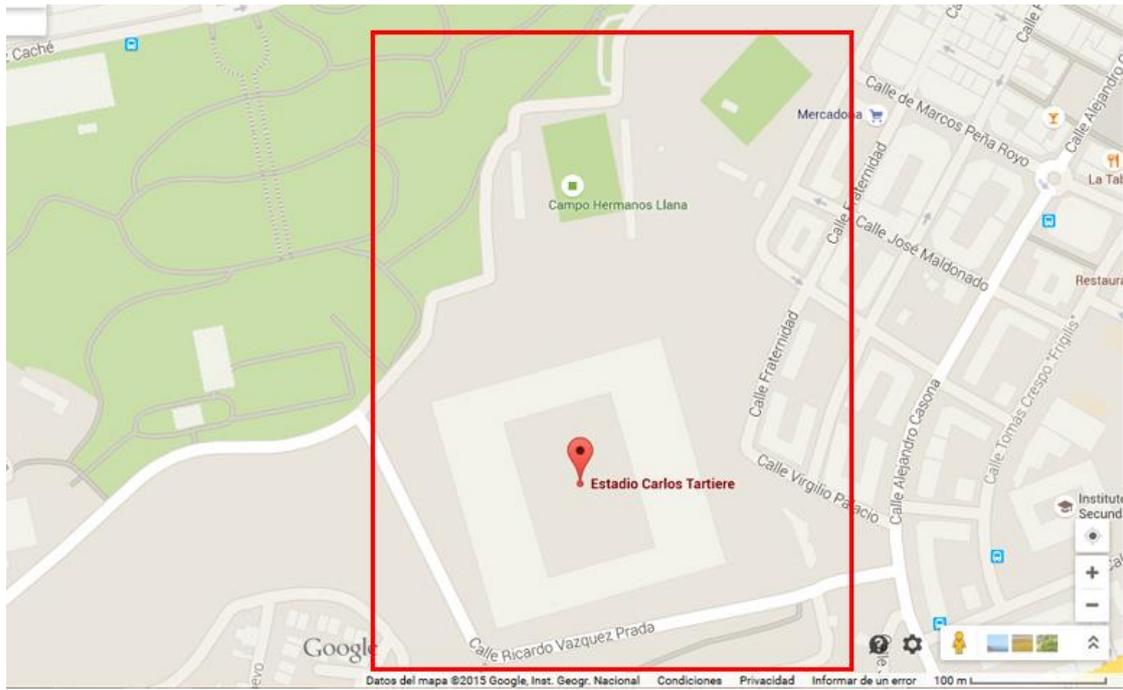


Figura 2.2: Área de estudio, resaltada en el cuadro rojo. Fuente Google Images.

2.2 Geografía y ortofotografía

La zona de estudio, comprendida en el ámbito del Estadio Municipal Carlos Tartiere, presenta unas características complejas, estando su morfología trastocada por los sucesivos movimientos de tierras vinculados a la expansión urbanística y al aprovechamiento del territorio (Pando et al., 2011).

Esta dificultad añadida, propia de zonas urbanas intensamente antropizadas a lo largo de los siglos, implica una gran variación histórica en el relieve y morfología de estas áreas.

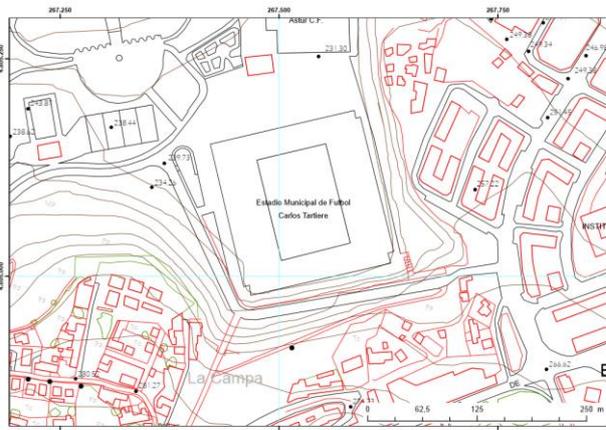
La zona de estudio (Fig.2.3), que abarca unas 19 hectáreas, presenta un fuerte contraste topográfico, con un desnivel de unos 50 metros entre las zonas más elevadas y las más deprimidas. La zona más elevada se encuentra en el borde SW



del área de estudio, a 280 msnm, mientras que la base del terreno de juego del Estadio Municipal Carlos Tartiere se encuentra a 227 msnm (metros sobre el nivel del mar).

Estamos ante un equipamiento deportivo encajado en una zona deprimida, rodeado de tres fuertes taludes hacia el sur, este y oeste, abriéndose hacia una zona llana en su vertiente norte.

Dicha morfología, modificada para la Construcción del nuevo estadio entre los años 1999 y 2000 (AMO, 1998), corresponde a una antigua cantera de caliza -la "Cantera de Lavapiés"- que comenzó a ser explotada, al menos, desde el año 1517 (Pando et al., 2011). Posteriormente, explotarían las arenas y por último las arcillas, instalándose fábricas de tejas en este lugar.



Por tanto, lo que hoy constituyen los taludes entre los que el estadio municipal está enclavado (Fig. 2.4) fueron los frentes de avance de una cantera que siguió siendo explotada hasta el siglo XX.

Figura 2.3: Ortofotografía de la zona de estudio. Plan Nacional de Ortofotografía Aérea de España (PNOA) y topografía 1:2500. Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN)

2.3 Justificación y antecedentes

El 20 de septiembre del año 2000 era inaugurado el nuevo Estadio Municipal Carlos Tartiere de Oviedo/Uviéu. Su construcción vino provocada por la entrada en vigor de una normativa de la UEFA en 1998 (El País, 1998) que obligaba a los clubes, por motivos de seguridad, a que todas las localidades de los estadios tuviesen asignado un asiento con número, frente a las gradas abiertas sin asientos existentes anteriormente (Ayuntamiento de Oviedo, 2000).

Esta novedad, con el paso a tener a todos los espectadores sentados, conllevó una reducción en el aforo de los estadios. En el caso del antiguo Estadio Carlos Tartiere, se pasó de las 23.500 localidades del año 1998 a 16.500 en el año 1999 tras la remodelación (Real Oviedo, 2015). La merma de asientos supuso que el estadio casi agotase su aforo solamente con la cifra de abonados del año 1998, que llegó prácticamente a los 12.000 socios (Bayón, 2013) por 16.500 localidades disponibles. Por tanto, desde las instituciones municipales, se vio la necesidad de abordar un proyecto de construcción de un nuevo equipamiento deportivo moderno, que permitiese albergar la competición de Primera División, una categoría en la que el club parecía afianzado en la última década.

Finalmente, tras concurso público de obras, y una vez escogido el emplazamiento de la Cantera de Lavapiés en el barrio de La Ería/La Iría de Oviedo/Uviéu el proyecto adjudicado fue el elaborado por los arquitectos D. Emilio Llano, D. Carlos Buxadé y D. Joan Margarit, consistente en un estadio con capacidad para 30.500 espectadores que ganaría el Premio Nacional de Arquitectura Deportiva en el año 2001 (2BMFG, 2001) ejecutado por la empresa española DRAGADOS S.A.

Sin embargo, desde su inauguración en el año 2000 el estadio presentó distintas problemáticas que suponen anualmente un gran desembolso al consistorio municipal, que, como propietario, se hace cargo del mantenimiento de las instalaciones.



Figura 2.4: Enclave del Estadio Municipal Carlos Tartiere encajado entre los tres taludes que corresponden a la antigua Cantera de Lavapiés, visto desde la falda de la Sierra del Naranco.

2.3.1 Problemática en el campo de fútbol.

La construcción del nuevo Estadio Carlos Tartiere costó a las arcas públicas del municipio de Oviedo/Uviéu más de 47 millones de euros según la última estimación realizada (La Nueva España, 3 de marzo de 2014). Sin embargo, anualmente siguen apareciendo en los presupuestos municipales importantes partidas (Ayuntamiento de Oviedo, 2014) para paliar las deficiencias existentes, sobre todo, en lo relativo al drenaje y situación del césped, que implican instalación de arquetas y drenajes perimetrales e incluso se plantea la compra de unas lámparas de calor para la mejora de las condiciones del terreno de juego. Se proponen también otras nuevas obras en el ámbito del talud situado tras el fondo sur del estadio, consistentes en una rampa de acceso elevada que salve el vano entre el talud y el vomitorio superior del costado oriental del estadio (La Nueva España, 25 de febrero de 2015)

La prensa viene haciéndose eco durante estos últimos 15 años desde la inauguración de las reformas efectuadas y de las problemáticas referidas, principalmente las relacionadas con el estado del terreno de juego que, además de ser negativo para el propio espectáculo deportivo, es nocivo para la salud de los jugadores, provocando numerosas lesiones (LNE, 30 de enero de 2013) como consecuencia del mal enraizamiento de los tepes del césped (Vavel, 12 de febrero de 2013). Incluso el jardinero responsable del estadio Santiago Bernabéu, donde juega el Real Madrid, se interesará por la situación del césped ovetense (OVDSport, 29 de enero de 2013).

En última instancia, el propio arquitecto responsable del diseño del estadio D. Emilio Llano defiende la ubicación del equipamiento, su drenaje, orientación y la elección de los materiales de la cubierta.

A continuación se expone un dossier periodístico (Fig 2.5) de noticias publicadas en diversos medios reflejando algunas de las problemáticas del estadio municipal.



Figura 2.5: Dossier periodístico (La Nueva España 3/03/2014; 2015; OVDSport, 29/01/2013; Vavel, 12/02/2013; La Nueva España, 30/01/2013)

Queda patente que existe, por lo tanto, una problemática grave para la corporación ovetense, que ve cómo la situación de un inmueble de titularidad municipal genera anualmente una serie de gastos de fondos económicos y recursos humanos, además de deteriorar la imagen del club y de la ciudad.

También queda demostrado, a partir de los antecedentes referidos, que el enclave en el que está instalado este equipamiento es susceptible de ser reanalizado desde una óptica geológico-geotécnica para determinar qué influencia en la situación actual pudiese derivarse de la interacción con el medio geológico inmediato.

2.4 Marco geológico

2.4.1 Generalidades

El área de estudio se encuentra en la zona centro de la comunidad autónoma del Principado de Asturias. El concejo de Oviedo/Uviéu se enmarca dentro de la Zona Cantábrica, la más externa de la cordillera orogénica varisca. En esta zona, los materiales paleozoicos dibujan un arco característico con la convexidad hacia el oeste que recibe el nombre de “Arco Astúrico”. Las estructuras geológicas presentan una orientación NE-SO (Gutiérrez Claverol y Torres Alonso, 1995).

Tras el levantamiento de la cadena montañosa varisca durante el Carbonífero, Asturias, como el resto del Macizo Ibérico, quedó plenamente integrada en el dominio continental. Más tarde, durante gran parte del Mesozoico, el mar volvería a cubrir de nuevo amplias zonas del territorio dejando en ellas su impronta, mientras que, por el contrario, en otros puntos continuaban acumulándose materiales de origen continental. Las rocas mesozoicas constituyen, junto con las del Cenozoico y Pérmico, la cobertera, dispuesta discordante sobre el zócalo paleozoico (Bastida, 2004) (Fig.2.6). Los materiales rocosos de dicha cobertera, al haberse acumulado posteriormente, han podido librarse de procesos de deformación que afectaron al basamento, disponiéndose pseudohorizontales. (García-Ramos, 1995)

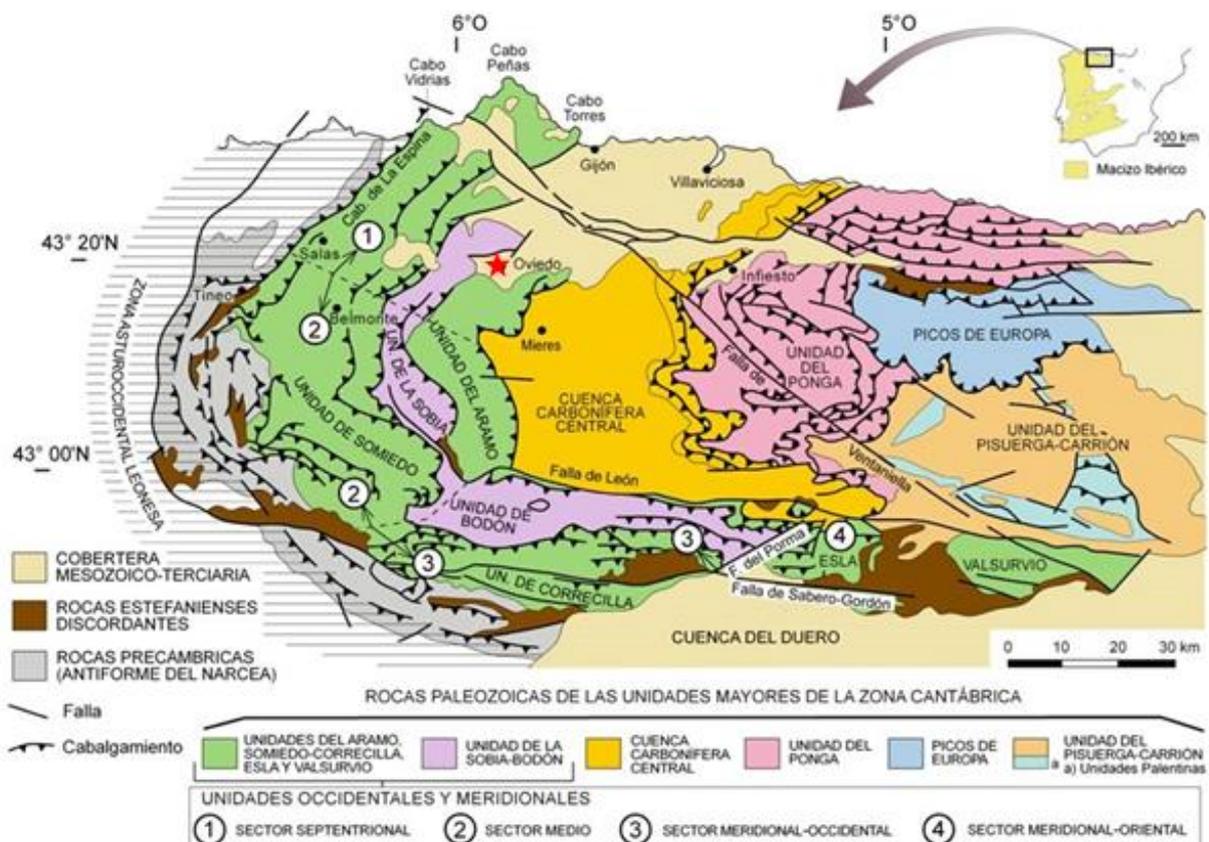


Figura 2.6: Disposición de las Unidades geológicas de la Zona Cantábrica con la localización de la zona de estudio (modificado de Bastida, 2004)

La ciudad de Oviedo/Uviéu se asienta, en ese contexto, sobre la cuenca mesocenozoica homónima, definiendo la terminación occidental de la Depresión Mesoterciaria Central de Asturias (Gutiérrez Claverol, 1972) que a su vez emplaza sobre un zócalo paleozoico fuertemente tectonizado perteneciente a la Zona Cantábrica (Lotze, 1945; Julivert et al, 1972). Dicha cuenca está configurada por una serie cretácica de unidades que alternan carácter silíceo y carbonatado, con edades comprendidas al menos entre el Aptiense y el Coniaciense (González Fernández et al., 2012)

En su mayor parte, los materiales cretácicos constituyen una cuenca principal alargada de más de 80 km de longitud que recibe el nombre de “Depresión Mesoterciaria Central de Asturias”. Sobre ella yace discordantemente un paleorrelieve paleógeno fluvio-lacustre dominado por margas, lutitas y calizas, cuyo espesor supera los 200m (Truyols et al, 1991). El recubrimiento cuaternario corresponde a sedimentos aluviales y coluviones. (Fig.2.7)

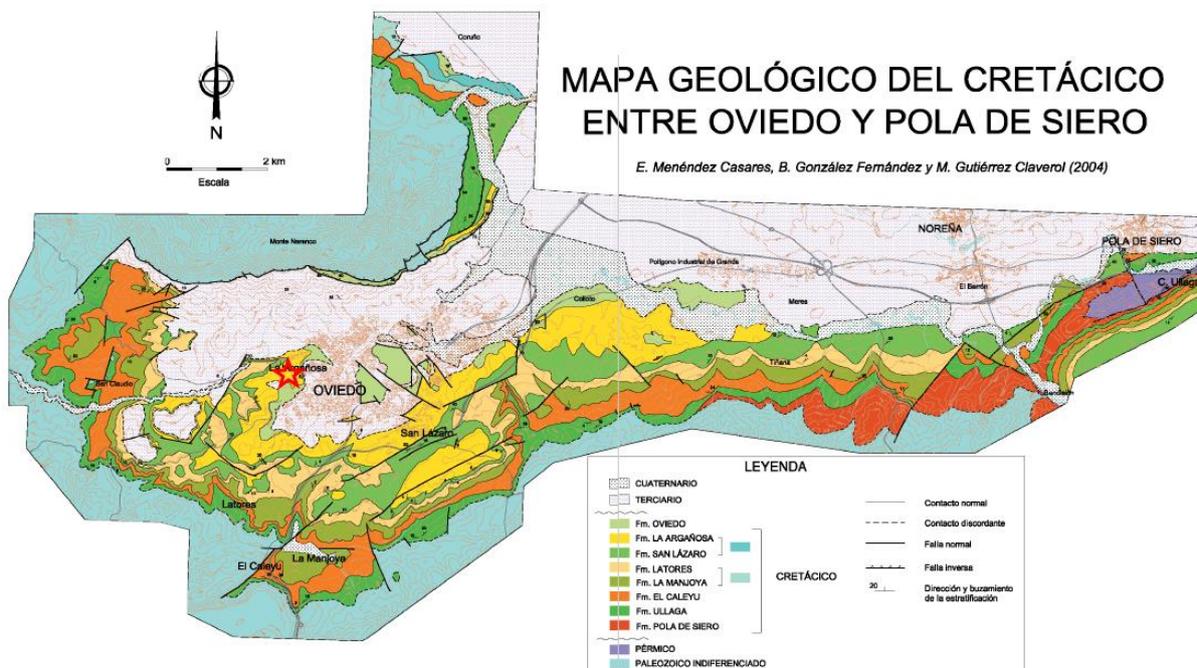


Figura 2.7: Mapa geológico donde se representa el sector más occidental de la Depresión Mesoterciaria Central de Asturias (González et al, 2004)

De muro a techo, en el área de estudio, tenemos representadas tres formaciones geológicas: la Fm. San Lázaro, la Fm. La Argañosa y la Fm. Oviedo (Fig. 2.9), correspondientes al Cretácico Superior (Turoniense, Coniaciense y Santoniense).

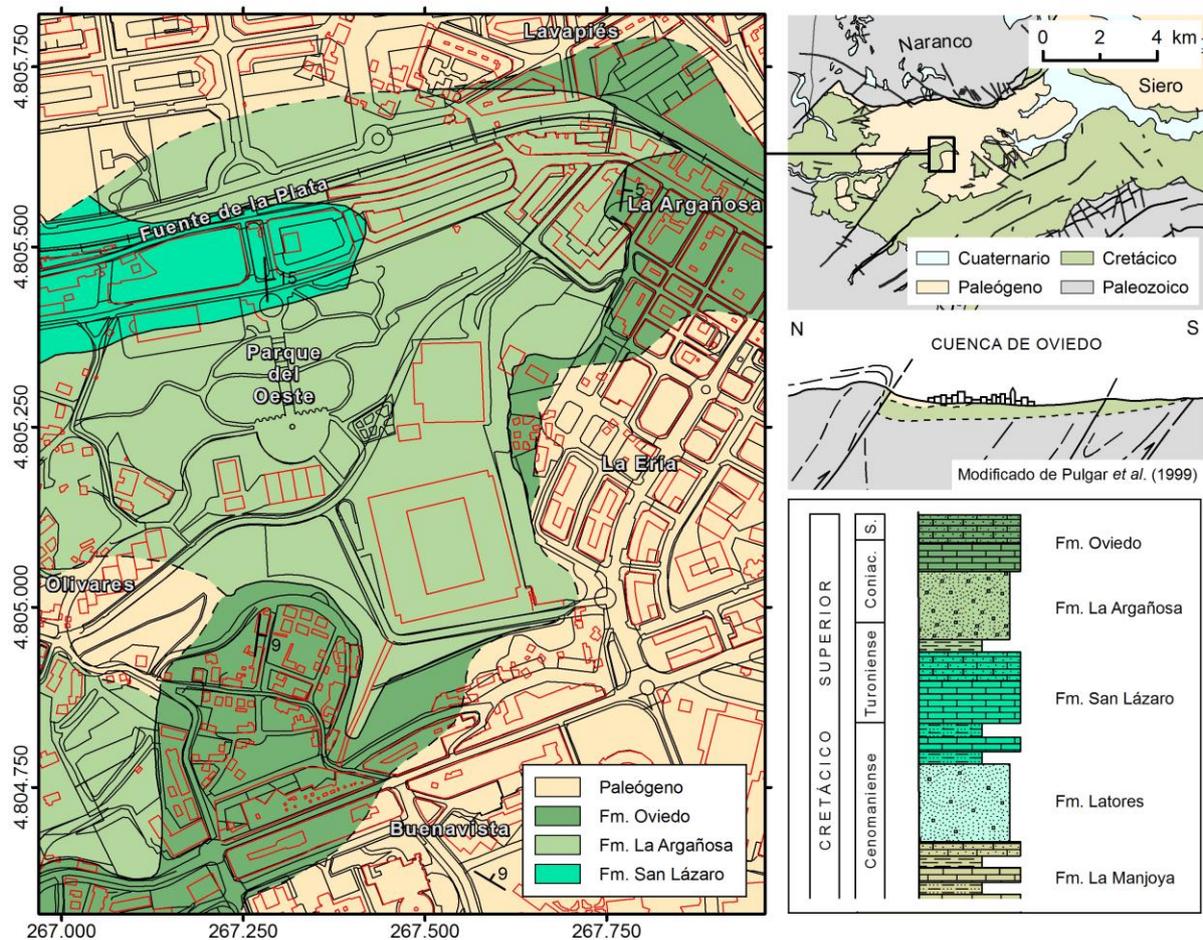


Figura 2.9: Columna estratigráfica y distribución geográfica de las formaciones del Cretácico Superior, Paleógeno y Cuaternario en el sector occidental de la Depresión Mesoterciaria Central de Asturias en el entorno de la ciudad de Oviedo/Uviéu (tomado de Pando et al., 2012; basado en González et al, 2004 y 2005)

Formación San Lázaro

Se trata de un conjunto de materiales predominantemente carbonatados, muy característicos y con bastante uniformidad a lo largo de toda la cuenca cretácica (Gutiérrez Claverol, 1969) y equivale a otras formaciones definidas previamente por otros autores (Fig. 2.8), conocidas como Otero y Las Tercias (Bernárdez, 1994; Olima, 1994; Gutiérrez Claverol y Torres Alonso, 1995).

Recibe el nombre del barrio de San Lázaro, situado al SE de Oviedo/Uviéu estando definida en las inmediaciones de Villafría. Funciona como nivel guía característico para orientarse en el Cretácico. La unidad, sobre las areniscas de la Fm. Latores, comienza con un tramo de intercalaciones detríticas y continúa con una serie carbonatada (González Fernández et al., 2004). Presenta tres miembros diferenciados, de muro a techo.

En el miembro inferior, que equivale a la Fm. Otero (García-Ramos, 1995) se compone de una alternancia de arcillitas, margas, limolitas, areniscas y calizas que contienen glauconita, yesos y ámbar, con niveles muy bioturbados. Las arcillas y limos suelen presentar laminación lenticular y ondulante y las calizas presentan litofacies packstone a grainstone, wackestone y arenosas. Se trata de materiales de carácter marino depositados en un área sublitoral somero dentro de un sistema de bahía abierta-lagoon.

Los miembros medio y superior equivalen a la Fm. Las Tercias. En el miembro medio tenemos calizas nodulosas grises y en el superior calizas pardo-amarillentas, ambas con glauconita.

Intercalados entre las calizas tenemos niveles arcillo-limosos de pequeño espesor. Hacia el techo, cerca del contacto con la Fm. La Argañosa, hay una litofacies caracterizada por la presencia de mica blanca.

Las calizas del miembro superior suelen estar muy karstificadas, con dolinas de dimensiones decimétricas (10-40 m) y profundidades de 10m, representando una zona de drenaje debido a que las calizas nodulosas e intercalaciones arcillosas del miembro medio se comportan como poco permeables. (Olima, 1994; Bernárdez, 1994; Gutiérrez Claverol, 1995; García-Ramos, 1995)

Formación La Argañosa

Equivalente a la Fm. La Ería (Bernárdez, 1994), descrita en el barrio ovetense de La Argañosa/L'Argañosa. Se trata de unas areniscas muy poco cementadas, de gran variabilidad de tamaños de grano (de fino a muy grueso) y de color blanquecino, con gravas de cuarzo más frecuentes hacia techo. Presenta intercalaciones arcillosas de colores rosáceos y granos de cuarzo anaranjados. En ocasiones presentan laminación y estratificación cruzada.

Se estima que tiene una potencia de unos 30-40 metros y no presenta fauna, por lo que su edad se determina por criterios estratigráficos relativos, siendo esta comprendida entre el Turoniense medio y el Coniaciense, en el Cretácico Superior.

La presencia de micas y la mala calibración de arenas indica un ambiente deposicional de tipo fluvial representando un descenso en el nivel del mar (episodio regresivo) (González Fernández et al., 2004)

La serie más completa aparece en el ámbito próximo al Estadio Municipal, precisamente como consecuencia de los taludes que dejó su construcción, donde aparece una sucesión de 27,4 m que descansa sobre un tramo arcilloso sobre el que está cimentado el equipamiento deportivo (Fig.2.10)

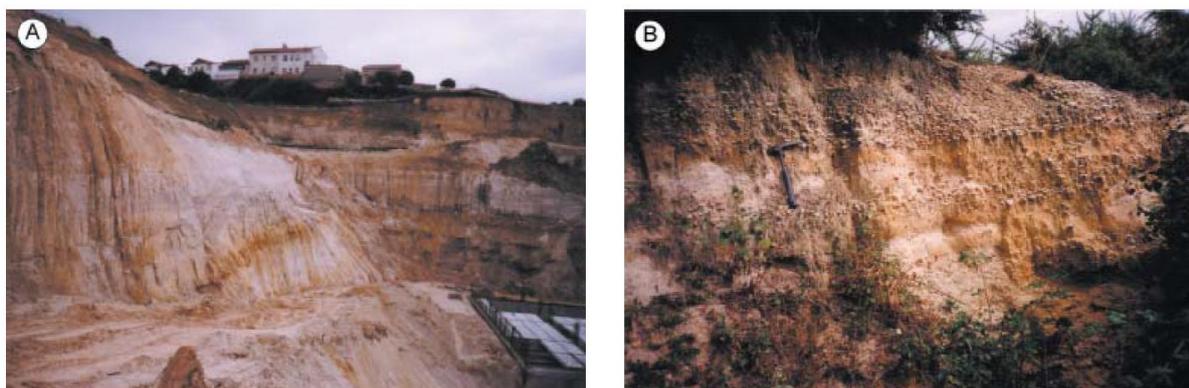


Figura 2.10: A: Afloramiento de la Fm. La Argañosa en el ámbito del Carlos Tartiere. B: Afloramiento de la misma Fm. La Argañosa en El Campón (Oviedo/Uviéu) presentando lentejones de conglomerados (tomada de González Fernández et al., 2004)

Hay descrita precisamente en este mismo enclave una columna estratigráfica que en su base comienza con unas arcillitas de color rosado, pasando hacia techo a areniscas que van variando de tamaño y algunas intercalaciones de arcillitas rosáceas. También se describe la presencia de caolín en las areniscas y laminaciones cruzadas. En la parte superior de la sucesión aparecen unas gravas silíceas de hasta 2-3 cm de diámetro en matriz de arenas heterométricas y arcillitas. La formación culmina con una serie de areniscas, arcillitas y gravas silíceas, hasta el contacto con la Fm. Oviedo.

Constituye un nivel acuífero explotado en varios puntos de la cuenca.

Formación Oviedo

Esta formación constituye el techo del Cretácico en la Depresión Mesoterciaria del Centro de Asturias. Se trata de unas calizas que reciben este nombre al estar definidas y ser características de la ciudad. Equivalen a las Fm. Infiesto y La Cueva (Bernárdez, 1994).

Son unas calizas de color beige claro-amarillento como consecuencia de oxidación con mucha fauna marina de algas, foraminíferos, rudistas, lamelibranquios, briozoos, equinodermos y gasterópodos (Bernárdez, 1993)

Se levantó una columna precisamente en el área de estudio, como consecuencia de la construcción del nuevo Estadio Carlos Tartiere, como ocurre con la Fm. La Argañosa y se diferencian en ella tres tramos distintos (González et al., 2004), de muro a techo: (Fig. 2.11).

Un primer tramo, de calizas grainstone bioclásticas y calizas arenosas con estratificación cruzada tabular.

Un segundo tramo de calizas nodulosas y masivas (wackestone a packstone bioclásticas y algo cuarzosas) que pueden presentar coloración rosácea por oxidación. Presentan fauna de foraminíferos, moluscos, ostrácodos y hacia techo fauna rudista.



Figura 2.11: Afloramientos de la Fm. Oviedo en los taludes del Estadio Municipal Carlos Tartiere. Se observa el contacto entre arenas de la Fm. La Argañosa y las calizas de la Fm. Oviedo.

Finalmente, un tercer tramo de calizas packstone a grainstone, de algas pero también con moluscos y crinoideos con estratificaciones cruzadas.

En las calizas situadas hacia techo se observa un intenso fenómeno de karstificación, con la presencia de dolinas que pueden llegar hasta los 10-15m (Gutiérrez Claverol et al, 2004). Por su parte, la descalcificación provoca arenizaciones que pueden hacer que, a escala de afloramiento, se confundan con otras formaciones siliciclásticas.

La sucesión tiene gran continuidad lateral, pero está erosionada parcialmente disponiéndose sobre ella los materiales del Terciario. Su potencia oscila, debido a esto, entre los 25 y 40m. Sin embargo, su espesor en la zona urbana raramente supera los 14 m. En algunos puntos del núcleo urbano llega a desaparecer.

Su edad, determinada por la fauna existente, abarca desde el Coniaciense, en los tramos inferiores, hasta Santiense, en el tramo superior y el ambiente sedimentario que se ha descrito parece corresponder a distintas zonas dentro de una llanura mareal, alternando zonas submareales abiertas y someras e intermareales.

2.4.3 Estructura

Los materiales que ocupan el área de estudio forman, como se ha dicho, parte de la Cuenca de Oviedo, en la terminación occidental de la Depresión Mesoterciaria Central de Asturias. Esta depresión está situada discordante, a modo de cobertera, sobre un zócalo paleozoico muy tectonizado. Las unidades cretácicas, en el enclave del Estadio Municipal Carlos Tartiere, afloran en superficie. Sobre ellas yace discordante, mediante paleorrelieve, una cobertera paleógena fluvio-lacustre dominada por margas, lutitas y calizas (Truyols, 1991). El recubrimiento cuaternario corresponde a sedimentos aluviales y coluvionares. (Fig. 2.12)

Estas características tectónicas están relacionadas con la orogenia alpina y reactivación de estructuras variscas (Alonso et al., 1995). La cuenca adopta una geometría de un gran plegamiento sinclinal disimétrico con eje alineado aproximadamente en dirección este-oeste. El flanco sur posee buzamientos muy suaves, inferiores a 20° , y el septentrional adquiere una disposición más verticalizada. También se reconocen varios sistemas de fallas subverticales con rumbos NE-SO, NO-SE a NNO-SSE y E-O. (Gutiérrez Claverol y Torres Alonso, 1995)

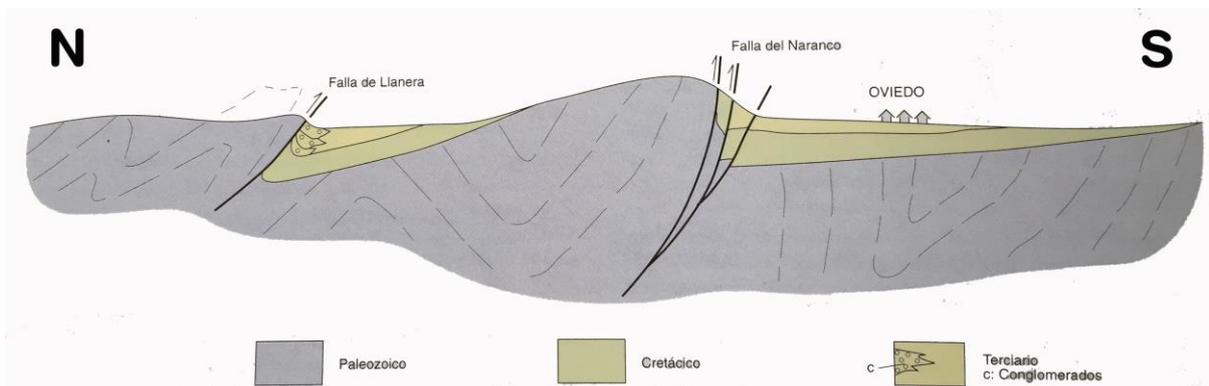


Figura 2.12: Estructura simplificada de la Cuenca de Oviedo. Se observan los materiales cretácicos situados discordantes sobre el zócalo paleozoico aunque esta sección donde aflora bajo la ciudad de Oviedo el Terciario no se corresponde exactamente con el caso en el que nos encontramos. (Tomado de García-Ramos et. al, 1995).

2.4.4 Hidrogeología

Una buena parte del concejo de Oviedo/Uviéu (59 km² aproximadamente) están asentados, como venimos describiendo, sobre terrenos del Cretácico y Terciario. Sus estratigrafías, constituidas por arenas, arcillas, calizas y yesos condicionan de gran manera sus características geotécnicas e hidrogeológicas (Pendás Fernández y González Fernández, 2003).

Los materiales del Cretácico tienen una potencia aproximada de unos 275 m. Hidrogeológicamente se pueden diferenciar siete niveles permeables. Atendiendo a las características hidrogeológicas de las formaciones presentes en el área de estudio tenemos:

Formación San Lázaro

En total, formada por unos 50 m de espesor. Hacia muro resultan ser niveles impermeables o de muy baja permeabilidad, debido a la presencia de arcillas y limos. En ocasiones puede dar lugar a fuentes de escaso caudal en algunas barras de calizas con espesores de 20 a 50 cm

Hacia techo, con mayor presencia de calizas, se producen fenómenos intensos de karstificación, con frecuente aparición de dolinas. Este nivel es permeable, kárstico y poroso con una permeabilidad que puede oscilar en torno a los 10m/día.

Formación La Argañosa

Se trata de unos 30 m de arenas de grano medio a muy grueso, constituyendo por tanto un nivel de porosidad intergranular, con una permeabilidad que puede variar entre 10² y 10⁴ m/día, siendo una de las unidades acuífero principales del subsuelo de la ciudad de Oviedo/Uviéu, recibiendo el nombre de “Acuífero superior (ak1)” (Gutiérrez Claverol y Torres Alonso, 1995).

En esta unidad está excavado y cimentado el Estadio Municipal Carlos Tartiere.

Formación Oviedo

Son unos 35 m de calizas mudstone a grainstone que presentan un tramo noduloso y masivo limitado a muro y techo por otros tramos de calizas, en ocasiones, muy detríticas que presentan intensa karstificación. Hacia el techo pueden estar muy alteradas, con aspecto arenoso.

Tienen unas características similares a las de las facies de techo de la Fm. San Lázaro, con la abundante karstificación descrita, pudiendo atribuírsele una permeabilidad aproximada de 10 m/día.

Sintetizando, podríamos decir que el Cretácico constituye un acuífero fundamentalmente siliciclástico multicapa con algunos niveles de alta permeabilidad.

La importancia de los materiales cretácicos como fuente de aprovechamiento hidrogeológico es notoria y lo demuestran las abundantes captaciones en su subsuelo. La cuenca Cretácica de Oviedo/Uviéu constituye un sistema hidrogeológico en la zona central de un sinclinal. Donde la serie está completa se pueden definir hasta siete niveles permeables cretácicos, con un espesor total del orden de 150 m. Si consideramos una porosidad del 10% y una extensión de 10 km² se obtiene un almacenamiento de 150 Hm².

El sistema estaría limitado hacia el norte por la falla del Naranco, que probablemente alimente hídricamente a estas formaciones desde el Paleozoico carbonatado cabalgante.

Al este, el río Nora recibe la mayor parte de las descargas del sistema, siendo un nivel constante. Por el sur, el acuífero está a cotas elevadas, no estando saturados los niveles más permeables. Aproximadamente las tres cuartas partes de la superficie de la cuenca drenan al río Nora, como en el área de estudio con una dirección general SO-NE, y la cuarta parte a los ríos Gafu y San Cloyo.

La recarga se produce por infiltración de agua de lluvia o bien por aflorantes paleozoicos, como ocurre al sur de la falla del Naranco (fuentes de Ules y del Sapo).

2.4.5 Geomorfología

La geomorfología observable en la zona de estudio está condicionada por el modelado y los depósitos cuaternarios así como por la actividad humana, al ser una zona urbana en constante cambio y removilización desde hace siglos.

Los depósitos naturales generados durante este período están representados por eluviones, aluviones, coluviones y rellenos de depresiones kársticas con materiales arcillosos producto de la descarbonatación de las calizas, principalmente, de la Formación Oviedo, que generan abundantes cavidades y también surgencias de agua (Fig. 2.13)

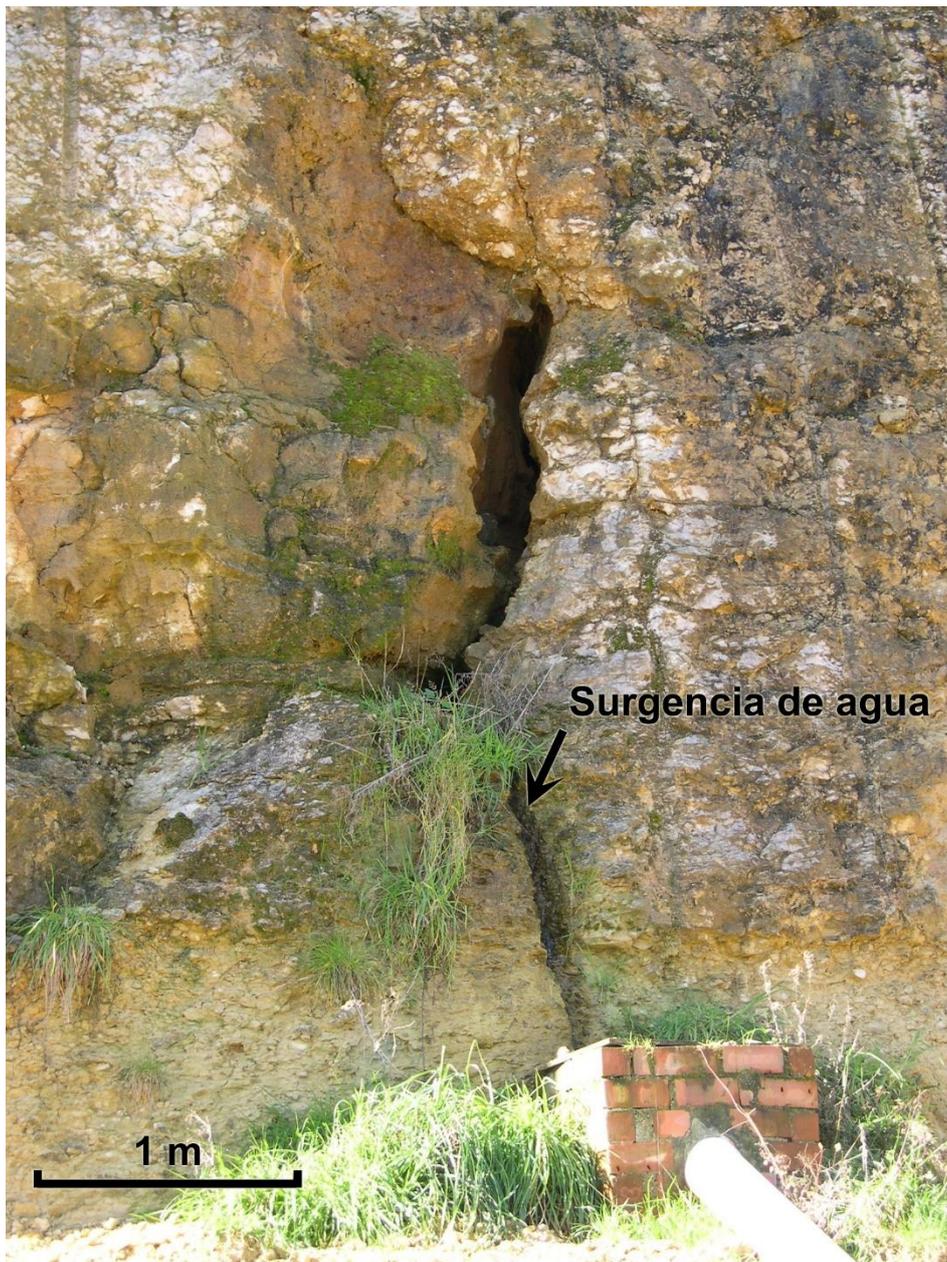


Figura 2.13: Drenaje de las calizas de la Fm. Oviedo en el ámbito del Estadio Carlos Tartiere (tomado de Gutiérrez Claverol et al., 2004)

2.4.6 Sismicidad

En el miembro medio de la Formación San Lázaro está descrito un nivel con estructuras de deformación visible hacia el sur de la zona de estudio probablemente atribuibles a un evento sísmico (González et al., 2004)

Este hecho podría correlacionarse con un slump que se describe en el sondeo de Coruño, en niveles estratigráficos equivalentes (Gutiérrez Claverol, 1974).

En lo referente a la materia normativa vigente en España en relación a los riesgos derivados de la actividad telúrica (Ministerio de Fomento, 2002), en (NCSE-02 apartado 2.2, BOE de 11 de octubre de 2002), Asturias en su totalidad queda integrada en un área al que se atribuye una aceleración sísmica inferior a 0,04g; por ello para las tipologías de construcciones contempladas (importancia moderada, normal y especial) no resultan de obligada aplicación los preceptos fijados por la citada norma.

3. Metodología:

Para realizar el presente documento se emplearon cuatro líneas principales de actuación.

- En primer lugar, se realizó una campaña de documentación y puesta en común de todos los artículos y publicaciones relacionadas con la zona de estudio, así como de la documentación existente en dependencias municipales previa a la edificación del estadio municipal.
- Por otro lado, se realizó un trabajo de campo consistente en la observación de rasgos geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos del área de estudio, así como de las condiciones en las que se encuentra el propio equipamiento deportivo en su interior.
- De la misma manera, se elaboró un estudio –representado por medio de un sistema de información geográfica (GIS)- que, partiendo de la distinta información topográfica existente sobre el enclave actual del nuevo Estadio Carlos Tartiere desde mediados del siglo pasado, permitió analizar la removilización de tierras y la variación de la morfología del solar durante todo este tiempo.
- Asimismo, se diseñó y llevó a cabo una campaña de geofísica mediante la técnica de Tomografía Eléctrica a lo largo del césped del estadio, con tres perfiles longitudinales y dos transversales al mismo de tal manera que se determinase las características del subsuelo bajo el equipamiento deportivo.

3.1 Fase de documentación

Para la realización de un estudio como este, realizar una prospección bibliográfica sobre el área de trabajo es indispensable y un punto de partida básico. Permite conocer qué estudios se han realizado previamente en la zona y su vigencia científica, aportando la base teórica sobre la que comienza una nueva fase de investigación.

Al corresponder el área de estudio a una zona urbana, ocupada secularmente por el ser humano, abunda la documentación geológico-geotécnica actualizada, disponible en buscadores de publicaciones, tesis o informes de consultorías etc.

Se localiza el expediente relativo a la construcción del Nuevo Estadio Carlos Tartiere en el Archivo Municipal de Oviedo/Uviéu, que incluye un informe geotécnico y un plan de ejecución de obras que puede resultar interesante para la caracterización del entorno.

Se solicita, también, colaboración al servicio municipal de Parques y Jardines, de cara a que se produzca un intercambio de información sobre cuestiones relativas a la problemática concreta del césped, la situación de los sistemas de drenajes, sus impresiones y su experiencia laboral en el enclave de estudio.

3.2 Trabajo de campo

Se plantea la necesidad de realizar observaciones de campo en el área de estudio. Dichos trabajos han de abarcar parámetros geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos y geotécnicos. Incluyen también la necesidad de acceder a las instalaciones municipales, por lo que se solicita la colaboración del club Real Oviedo, beneficiario de las instalaciones y del Ayuntamiento.

3.2.1 Reconocimiento del área de estudio

Supone llevar a cabo una primera campaña de observación y registro de todas las características geológicas observables en el área de estudio a escala de afloramiento. Se incluye en este apartado el reconocimiento de rocas y formaciones existentes, sus relaciones estructurales y distribución espacial y las características que presentan los materiales.

3.2.2 Observaciones dentro del Estadio Municipal Carlos Tartiere

3.2.2.1 Cartografía de humedades y surgencias

Esta campaña ha de realizarse dentro del estadio. En ella se ha de reflejar la relación espacial de humedades y surgencias de agua existentes, así como de otros rasgos e indicios que puedan indicar su presencia tales como eflorescencias, presencia de algas y hongos, erosión por arroyada, corrosión de metales etc.

3.2.2.2 Observaciones de tipo geotécnico y estructural

En este tipo de observaciones se ha de incluir cualquier tipo de rasgo típico o indicio que sugiera asentamientos diferenciales en la cimentación posteriores a la construcción, la existencia de roturas en estructuras de sostenimiento, hundimientos, cavidades, excavaciones en el terreno etc.

3.2.3 Otras observaciones de tipo geomorfológico

Estas observaciones se realizarán en el exterior del estadio y estarán orientadas a caracterizar geomorfológicamente el área de estudio. Están encaminadas a recoger datos relacionados con el estado y morfología de los taludes, los fenómenos de erosión y de desprendimiento que pudiesen existir, las medidas de corrección realizadas y el funcionamiento de los procesos de infiltración y descarga de agua en este enclave, describiendo la relación de todos ellos con el entorno geológico.

3.3 Revisión histórica de la removilización de tierras (GIS)

El área de estudio, como ocurre en los ámbitos urbanos, ha sufrido una gran variación histórica como consecuencia de los fenómenos de ocupado, explotación y, en general, antropización del territorio. En este caso concreto, se tienen registros desde el siglo XVI de la existencia de canteras (Pando et al., 2011) con la consiguiente removilización de tierras y cambio en la morfología.

Se plantea una revisión histórica realizada a través de un Sistema de Información Geográfica (GIS) de esta removilización. Para ello se parte de cartografías

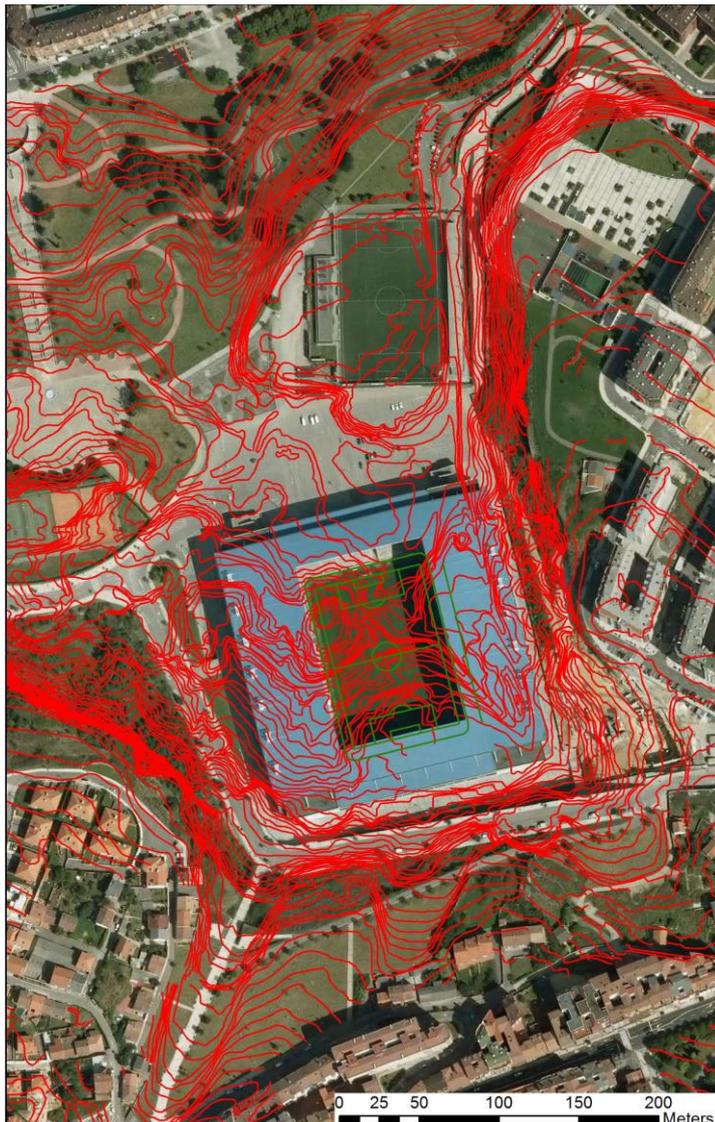


Figura 3.1: Superposición de la topografía del entorno del Carlos Tartiere en 1997 y ortofotografía de la situación actual.

topográficas de los años 1965 (cuando termina la fase de explotación de las calizas en la cantera), 1997 (momento previo a la construcción del nuevo Estadio Municipal Carlos Tartiere) y 2000, que corresponde a la situación actual.

Para realizar este trabajo informático se digitalizan las cartografías y georreferencian los datos topográficos (Fig.3.1) de tal manera que se obtienen Modelos Digitales de Elevaciones los cuales pueden ser comparados para determinar en qué zonas del solar existente hubo que proceder a labores de excavación y de relleno hasta llegar la situación actual. Esto permitirá entender mejor la relación entre el subsuelo y el sustrato geológico infrayacente.

También se obtienen otros datos de interés como las redes de flujo superficial existentes antes de la construcción del estadio y la urbanización del entorno.

3.4 Geofísica – Tomografía Eléctrica

Para la elaboración de este Trabajo Fin de Máster se consideró interesante la realización de una campaña de geofísica mediante el método de la tomografía eléctrica. Se utilizó este método por su capacidad para evaluar las condiciones hidrogeológicas del terreno, aspecto de especial importancia en el estudio de humedades del campo de fútbol. Dicha campaña fue realizada a lo largo del césped del terreno de juego del Estadio Municipal Carlos Tartiere de Oviedo/Uviéu.

3.4.1 Fundamentos teóricos

La tomografía eléctrica es una de las técnicas geofísicas más utilizadas en prospección del subsuelo, por ejemplo para caracterizar geológicamente e hidrogeológicamente un terreno, estudiar deslizamientos, detectar fallas, túneles y cavidades. Permite conocer la distribución de los materiales presentes en el terreno según la resistividad eléctrica que presentan. Para aplicar este método se realizan del orden de cientos de mediciones de resistividad, a través de la inyección de una corriente eléctrica de intensidad conocida entre dos puntos de la superficie. Al realizarse por medio de equipos multicanal y herramientas informáticas permite una gran diversificación de los estudios (Olona, 2014)

- Definición y medida de la resistividad

La resistividad es una medida de la dificultad que la corriente eléctrica encuentra a su paso por un material determinado (Orellana, 1982). Para un conductor homogéneo de forma cilíndrica-prismática la resistividad se define como:

$$\rho = R \left(\frac{A}{l} \right) \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde R es la resistencia entre caras opuestas al conductor, l es la arista o generatriz del conductor y A su sección. Según la ecuación 1 la resistividad se expresa como producto de la resistencia eléctrica por unidad de longitud u ohmio-metro (Ωm). La resistencia que experimenta una corriente eléctrica es proporcional al camino que ha de recorrer y no al volumen del cuerpo cuya resistividad se mide. (Parasnis, 1971)

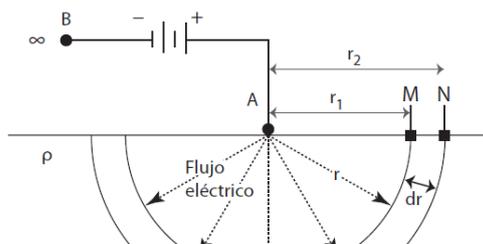


Figura 3.2: Medida de la resistividad mediante dos electrodos de potencial (M y N) y dos de corriente (A y B, este en el infinito) (Burger, 1992)

La determinación de la resistividad del terreno requiere de la inyección de corriente eléctrica al terreno mediante dos electrodos de corriente (A y B) y la medida de la diferencia de potencial resultante entre dos puntos, mediante otros dos electrodos denominados de potencial (a los que se suele denominar M y N) (Fig.3.2). En un medio homogéneo –y en el caso de que uno de los electrodos de corriente se sitúe en el infinito (electrodo B)

la corriente eléctrica fluirá radialmente desde el electrodo A distribuyéndose las superficies equipotenciales con geometrías esféricas. En este caso (Fig.3.2) la resistividad se define como

$$\rho = \left(\frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)} \right) \frac{\Delta V}{I} \quad (\text{Ecuación 2})$$

De lo que se deduce que la resistividad es función de la intensidad de corriente inyectada al terreno (I), de la diferencia de potencial entre los electrodos M y N (ΔV), y de la geometría de estos con el electrodo A tal como representa el miembro incluido entre paréntesis.

Cuando el electrodo B se encuentra en un punto determinado (y no el infinito, como en la Fig.3.2) el flujo de corriente describe una trayectoria desde el electrodo con carga positiva (A) al de carga negativa (B). En este caso, la resistividad depende de la relación geométrica que los electrodos de potencial (M y N) tengan con los electrodos de corriente (A y B). Esta relación geométrica (K) viene determinada por la Ecuación 3, donde AM, BM, AN y BN representan las distancias entre dichos electrodos y se denomina “factor geométrico”.

$$K = \left[\frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} \right) - \left(\frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} \right) + \left(\frac{1}{BN} \right)} \right] \quad (\text{Ecuación 3})$$

Teniendo en cuenta el factor geométrico, la ecuación de la resistividad se define según la Ecuación 4:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Aplicando la Ecuación 3 a un medio homogéneo el resultado es un valor de resistividad igual al del propio medio. Sin embargo, en un medio heterogéneo, como es el que nos encontramos en la naturaleza, el resultado es un valor producto de la resistividad variable de los materiales que atraviesa el flujo eléctrico. A este valor se lo denomina resistividad aparente (ρ_a). (Fig.3.3)

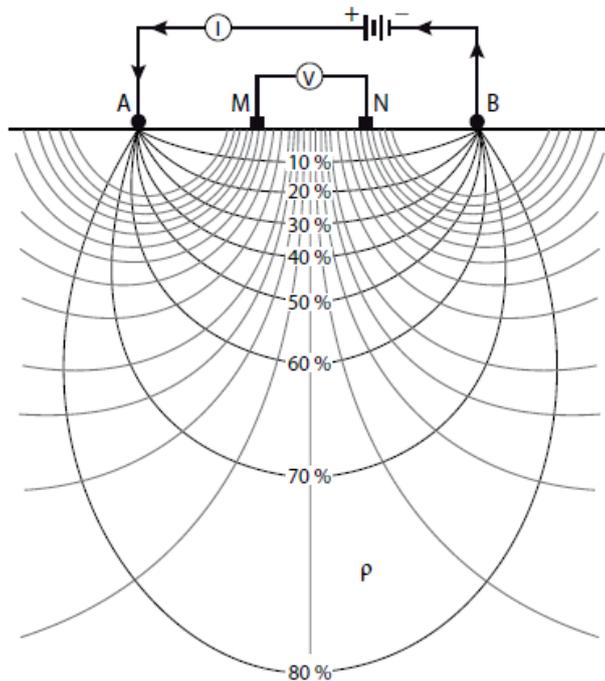


Figura 3.3: Distribución del flujo eléctrico y superficies equipotenciales en espacio homogéneo e isótropo para un registro de resistividad con cuatro electrodos. Se indica el % de corriente que penetra para cada profundidad (tomado de Olona, 2014; modificado de Burger, 1992)

Para ejemplificar el concepto de resistividad aparente se va a hacer referencia a un medio estratificado constituido por dos capas con resistividades homogéneas, siendo $\rho_1 < \rho_2$. En este caso la resistividad aparente varía, siendo similar al valor ρ_1 o ρ_2 , en función de la profundización de las líneas de flujo eléctrico (Fig. 3.4).

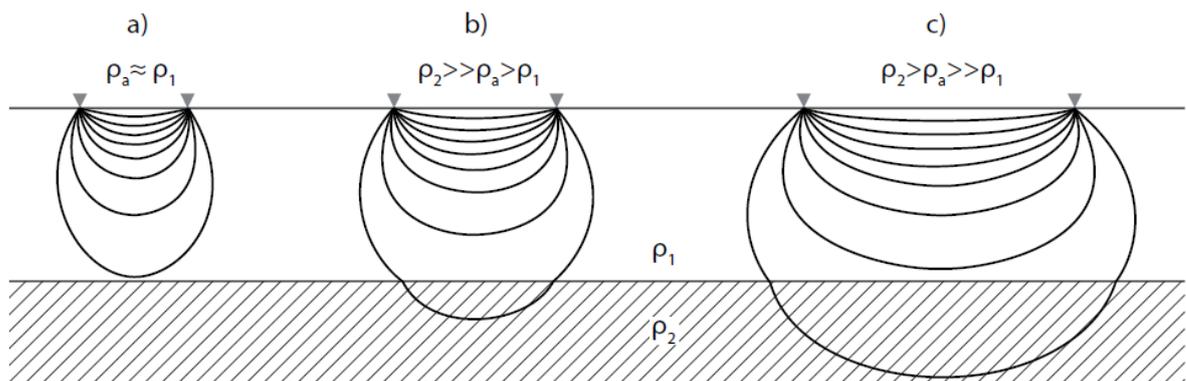


Figura 3.4: Evolución en el valor de la resistividad aparente según el espaciado entre electrodos de corriente. En la figura a) la resistividad aparente es muy similar a ρ_1 debido a la concentración de todo el flujo en la capa más superficial. Por el contrario, b) y c), conforme aumenta la distancia entre electrodos de corriente mayor es la densidad de corriente que atraviesa la segunda capa, provocando un acercamiento del valor de ρ_a a ρ_2 . (tomado de Olona, 2014; modificado de Burger, 1992).

- Configuración de los electrodos de medida

La distribución geométrica de los electrodos de medida de corriente (A y B) y de potencial (M y N) está relacionada con la medida de la resistividad aparente del terreno a una determinada profundidad. Para realizar una sección de resistividad aparente se establecen una serie de niveles de medida en profundidad. La definición de los niveles más superficiales requiere medidas realizadas con un dispositivo de registro de longitud reducida y los de medida a mayores profundidades requieren espaciados mayores entre electrodos de registro. (Fig.3.5)

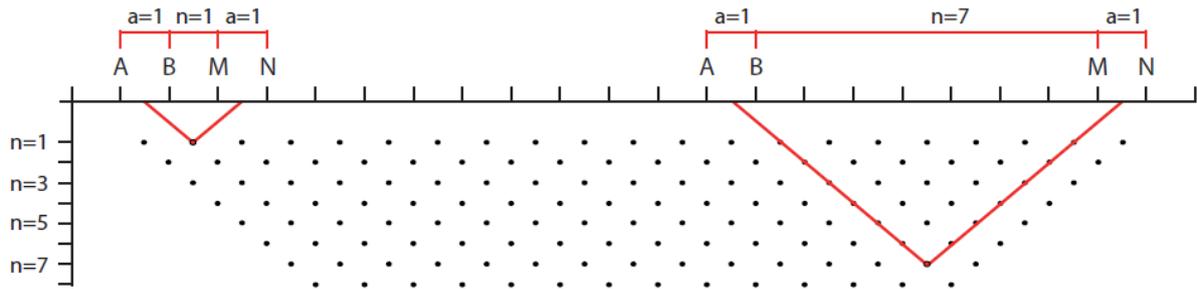


Figura 3.5: Distribución de los puntos de registro de resistividad aparente en una sección, mostrando la diferencia que genera en el registro de datos la separación de los electrodos. (Tomado de Olona, 2014)

En función de la distribución de los electrodos de corriente se diferencian varios tipos de configuraciones de medidas con los que realizar una medida de la resistividad del terreno. Uno de los más extendidos para estudios superficiales, como en el caso de este Trabajo Fin de Máster, es el llamado dipolo-dipolo, que además presenta una buena resolución lateral, aunque la intensidad de la señal es baja comparada con otras disposiciones.

Otras configuraciones son las llamadas Wenner, con los electrodos equidistantes, y Schlumberger, que tiene una distribución simétrica (Fig.3.6).

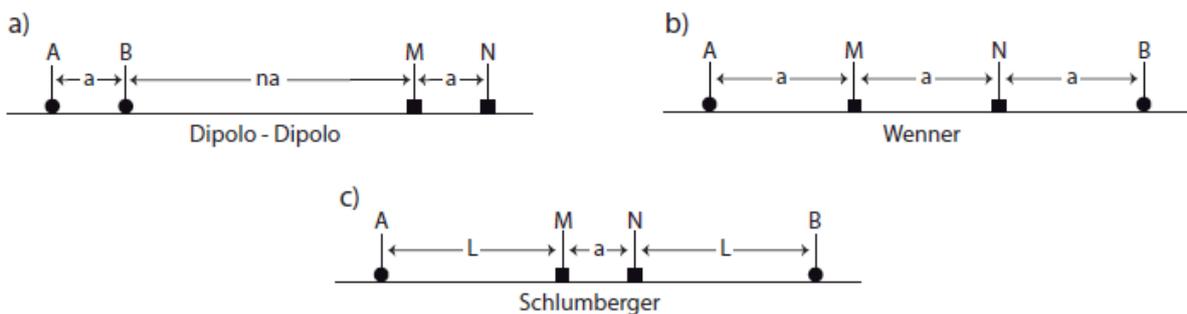


Figura 3.6: Distintas configuraciones espaciales de los electrodos de medida (Olona, 2014)

- Determinación de la resistividad real del terreno

El método de la tomografía eléctrica implica dos pasos en la determinación de la resistividad real del terreno.

Por un lado se requiere la medición de la resistividad aparente: para ello se instala una línea de electrodos con separación equidistante en la superficie del terreno. Los electrodos se conectan a un resistivímetro que se encarga de gestionar las combinaciones geométricas de manera automática y programada. Como resultado de esto se obtiene una seudosección de resistividad aparente del terreno constituida por decenas a centenares de puntos de medida.

Posteriormente se pasa por un proceso de modelización, donde se calcula la resistividad real del terreno mediante un algoritmo de inversión. El objetivo de este algoritmo es establecer un modelo de resistividad real del terreno cuyo perfil de resistividad aparente se ajuste en su mayor grado posible al perfil registrado en campo (Fig.3.7). En el modelo de resistividad real es donde se realizan las oportunas interpretaciones del tipo y estado de los materiales que constituyen el terreno.

Por último, cuando se trabaja con algoritmo y modelizaciones, resulta importante realizar una interpretación geológica de los resultados para que estos sean lo más coherentes con el contexto geológico.

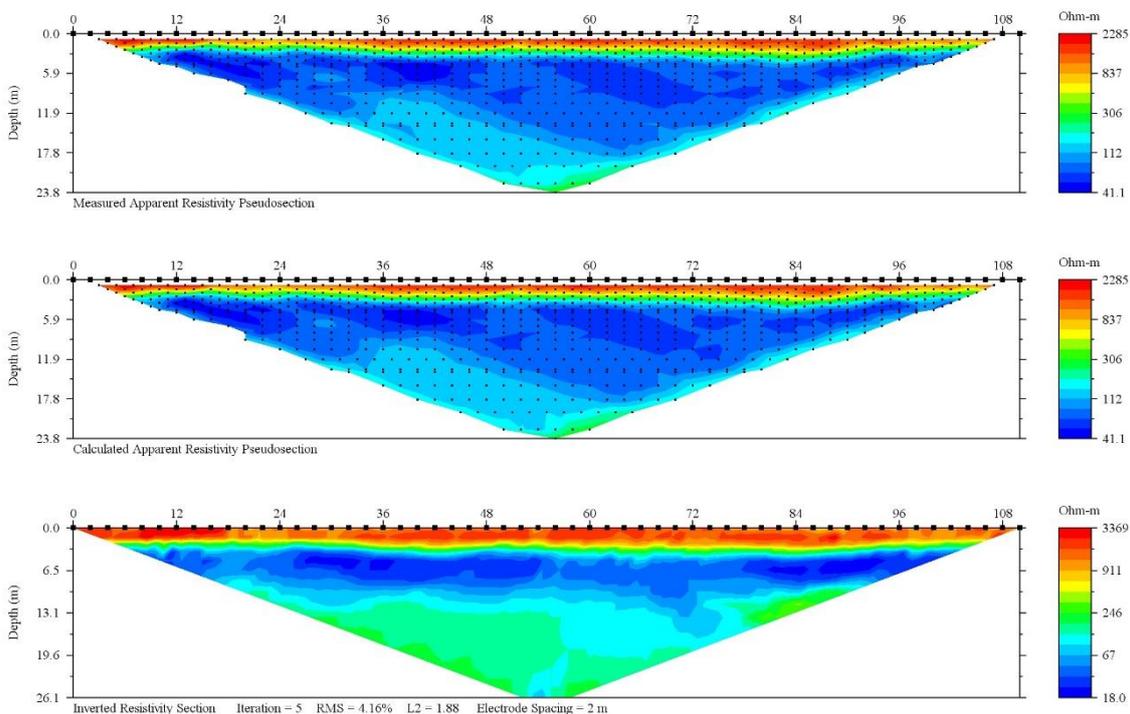


Figura 3.7: Información relacionada con la inversión de datos de resistividad eléctrica. En a) Ejemplo de registro de resistividad aparente. Los cuadrados negros de la superficie indican la situación de los electrodos de medida. Los puntos negros señalan la posición de las medidas de resistividad aparente que componen la sección. En b) seudosección de resistividad aparente calculada tras un proceso de inversión de datos para un modelo de resistividad real del terreno (c).

3.4.2 Adquisición de datos

El registro de datos se realizó con un equipo multicanal SuperStingR8 de Advanced Geoscience, Inc., con 56 electrodos y 4 cables eléctricos de 14 tomas cada uno. Como fuente de corriente continua se utilizó una batería de 12V. (Fig. 3.8)

El dispositivo se configuró para obtener perfiles de resistividad real del terreno hasta una profundidad aproximada de unos 25 m. La configuración de los electrodos fue la llamada dipolo-dipolo descrita en el apartado anterior, con una toma de 762 medidas por línea registrada. Para cada punto de medida se realizaron dos ciclos de medida. Esta actuación se encaminó a determinar la repetitividad y fiabilidad de los registros.



Figura 3.8: Disposición de los electrodos a lo largo del césped del Nuevo Estadio Carlos Tartiere, con el equipo de adquisición al fondo.

Antes de cada proceso de adquisición se realizó una evaluación de la resistencia de contacto entre los electrodos de medida y el terreno a lo largo del dispositivo (medida en ohmios, Ω). En la evaluación, el equipo de adquisición indica los valores que se van registrando a lo largo de la línea de electrodos. Valores inferiores a 2.000Ω se consideran óptimos para el buen desarrollo de las medidas de resistividad, ya que indicarían unas buenas condiciones para inyectar corriente, sin embargo también se pueden obtener buenos resultados con valores de hasta 5.000Ω .

Valores superiores a 5.000Ω indicarían una instalación deficiente de algún electrodo o, por el contrario, apuntarían a unas características del terreno no aptas para este tipo de técnica. Esto puede ocurrir, por ejemplo, en gravas limpias. En este estudio la resistencia se situó en la mayor parte de los casos por debajo de los 5.000Ω , excepto en algunos casos aislados en los que se alcanzaron 7.000Ω . Los relativamente altos

valores de resistencia se deben a la instalación de los electrodos en una capa de arenas limpias instalas en el campo de futbol. Para mejorar el proceso de toma de datos se regaron con agua cada uno de los electrodos antes del comienzo del registro, lo cual favoreció la inyección de corriente al terreno y por tanto la toma de datos.

Para realizar esta campaña se escogió un día con buena climatología y se solicitó al club que no se procediese al regado diario hasta que terminase la jornada, de cara a obtener unos datos de mejor calidad.

Se consideró interesante realizar cinco secciones de resistividad a lo largo de tres líneas longitudinales, paralelas a las tribunas, de dirección N-S, y dos transversales, de dirección E-O paralelas a los fondos del estadio. (Fig.3.9a y Fig. 3.9b)

En ambos casos se utilizaron los 56 electrodos. En las líneas longitudinales se optó por una separación de 2 m entre electrodos a lo largo de 110 metros, mientras que en las transversales la separación entre electrodos fue de 1,30 m a lo largo de 71,5 metros.



Figura 3.9a: Disposición de los perfiles de resistividad eléctrica realizados en la campaña de tomografía eléctrica sobre el césped del Nuevo Estadio Carlos Tartiere.



Figura 3.9b: Perfiles de resistividad eléctrica longitudinales y transversales realizados en la campaña de tomografía eléctrica sobre el césped del Nuevo Estadio Carlos Tartiere.

3.4.3 Análisis e inversión de datos

Tanto el análisis como la inversión de datos se realizó con la ayuda de software Earthmager2D de AGI (Advanced Geosciences, Inc.). En primer lugar se verificó la calidad de los datos registrados, eliminando aquellos de dudosa fiabilidad (Olona, 2014).

Los criterios establecidos para validar un dato son los siguientes:

- La diferencia de potencial registrada ha de ser mayor a 0,2mV, porque señales inferiores no son registradas de manera fiable por los equipos.
- La relación entre potencial registrado e intensidad de corriente (V/I) ha de ser mayor o igual a $5 \times 10^{-4} \Omega$
- La diferencia de resistividad entre los dos ciclos de medida realizados en cada punto de registro ha de ser inferior al 3%.
- La resistividad mínima y máxima aparente ha de estar entre 1 y 100.000 Ωm

El propio software de tratamiento de los datos registrados permite establecer qué registros presentan características que no cumplen los criterios anteriores, pudiendo ser eliminados durante esta fase inicial.

Después de evaluar la calidad de los datos se pasó a realizar un proceso de modelización de la resistividad real del terreno. Para ello se empleó la técnica de inversión de Occam, conocida como “smooth inversion” (deGroot-Hedlin and Constable, 1990). A partir de dicha técnica y según un proceso iterativo, se obtuvo un modelo de resistividad real del terreno mediante el ajuste automático de una seudosección de resistividad aparente teórica (calculada para el modelo real) a la seudosección medida en campo. Como inicio al proceso de inversión se tuvo que definir un modelo de resistividad real. Como se verá en el apartado de resultados se realizaron dos inversiones, para los que se obtuvieron dos resultados para cada línea de estudio, tomando como modelo de partida la seudosección de resistividad aparente medida en campo y una sección con una resistividad homogénea. También se definió el valor del factor *smooth* o de suavizado, cuya finalidad fue la de constreñir el modelo y equilibrar errores durante el proceso de inversión. Dicho valor se fijó en 100.

Para garantizar la fiabilidad de este proceso de modelización se estableció un valor máximo para el error cuadrático medio entre los valores de resistividad aparente calculada y medida del 5%. Dicho error se define como

$$\text{Error Cuadrático medio (RMS)} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{a_j^{cat} - a_j^{obs}}{a_j^{obs}} \right)^2}{n}} \quad (\text{Ecuación 5})$$

La mecánica seguida para obtener un modelo de resistividad representativo del terreno fue la siguiente: en primer lugar se realizó una inversión con los datos que reunían los parámetros de calidad anteriormente descritos para la señal eléctrica. Si en esa primera etapa se superó el límite del 5% para el error cuadrático medio, se

realizó una nueva inversión prescindiendo de los datos con mayor desajuste mediante un análisis estadístico. Esta metodología se repitió las veces necesarias hasta obtener un resultado con el menor error. Solamente se aceptaron modelos con errores superiores al 5% en los casos en los que esta reducción conllevaba un borrado masivo de datos que desvirtuasen el modelo.

3.4.4 Significado geológico de la resistividad eléctrica

La resistividad que presenta un cuerpo está directamente relacionada con las propiedades eléctricas y la distribución de las fases que lo componen. A pesar de que los minerales, en su mayoría (silicatos, carbonatos, sales...) son mayoritariamente aislantes el rango de resistividades que se presenta en la naturaleza es muy amplio. (Fig. 3.10)

En estudios superficiales los factores determinantes que controlan la variabilidad de resistividades en los registros se asocian principalmente a los electrolitos que ocupan la porosidad del terreno, que actúan como conductores iónicos. Así, los valores están condicionados al volumen y salinidad del electrolito y a la conectividad de los poros.

Como norma, cuanto más porosa es una roca y mayor es el contenido en agua mayor es la conductividad, esto es, menor es la resistividad. Calizas y granitos presentan resistividades altas en muestras no alteradas. Sin embargo, cuando se presentan alteradas por procesos geológicos como meteorización, fracturación o alteración hidrotermal pueden reducir considerablemente su resistividad (Olona, 2014).

Otro de los procesos que influyen sobre la conductividad de los materiales geológicos es la ionización de los minerales de la arcilla. Esto se debe a que las arcillas, en presencia de agua, ceden iones que aumentan la conductividad del electrolito, reduciendo la resistividad. Por tanto, las rocas y suelos con presencia de arcillas suelen tener resistividades anómalamente bajas.

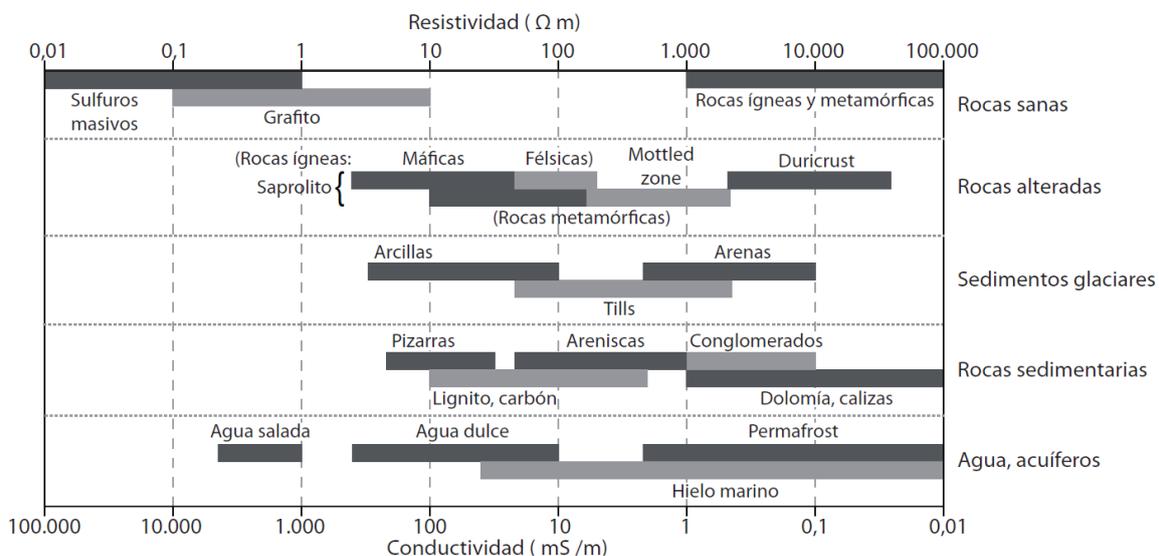


Figura 3.10: Valores de conductividad y resistividad eléctrica prototípicos para distintos materiales geológicos. (tomado de Olona, 2014; Knight and Endres, 2005).

4. Resultados y discusión:

4.1 Valoración de la documentación consultada

4.1.1 Trabajos de documentación bibliográfica

La primera aproximación metodológica realizada para la elaboración de este trabajo consistió en realizar una búsqueda de documentación sobre la información científico-técnica publicada en relación con el ámbito geológico y geográfico del Estadio Municipal Carlos Tartiere.

- En lo relativo a la geología de la zona de estudio existen abundantes publicaciones actualizadas que describen las características litoestratigráficas, la estructura general y las correlaciones espaciales de las formaciones presentes en la parte occidental de la Cuenca Cretácica de Asturias. (González Fernández et al., 2004)
- También resultan de gran interés los artículos que analizan la problemática geotécnica derivada de la realización de cimentaciones en las calizas del Cretácico Superior de Oviedo/Uviéu (Gutiérrez Claverol et al., 2004) y, específicamente, en la Formación La Argañosa, en la que está precisamente cimentado el Estadio Municipal Carlos Tartiere (Pando et al., 2012).
- Respecto a la hidrogeología del subsuelo ovetense existen publicaciones (Pendás Fernández y González Fernández, 2003) que analizan las características hidrogeológicas de las formaciones que afloran en la zona urbana de Oviedo/Uviéu, siendo especialmente interesantes los datos que describen las zonas de recarga, zonas de descarga, las direcciones de flujo y la permeabilidad calculada para los materiales del Cretácico, presentes en el área de estudio, y sus implicaciones a la hora de realizar cimentaciones en ellos.
- Asimismo, también se accede a documentación que explica la historia de antropización del solar ocupado actualmente por el estadio (Pando et al., 2011) que en su origen ocupó una cantera donde, en un principio, se explotó caliza para obtener sillares con los que se vienen construyendo muchos de los edificios monumentales de la ciudad. Posteriormente, serían explotadas las arenas y, finalmente, algunos niveles arcillosos para una fábrica de tejas.
- Existe un informe para realizar prospecciones de cara a determinar la existencia de cavidades kársticas y de posibles galerías de la cantera anteriormente descrita para evitar problemas de cimentación para la construcción de edificios en el barrio de La Ería/La Iría. Dicho estudio consta de una campaña de prospección y de geofísica que describe varias de las formaciones implicadas en el área de estudio. (Pulgar et al., 2000)
- Se dispone de un informe geológico que estudia las problemáticas relacionadas con las inestabilidades del talud más oriental del área de estudio provocadas

por el efecto de la intensa karstificación en las calizas que lo coronan. (Torres Alonso, 1971)

- Por último, se tiene acceso a un importante banco de fotografías históricas tomadas en el área de estudio al inicio de la década de los setenta, y también durante el proceso de construcción del nuevo Estadio Municipal Carlos Tartiere, así como de la urbanización del entorno, que incluye una carretera de acceso, muros pantalla de tierra, escolleras obtenidas a partir de investigaciones (LNE, 1999). Dicha documentación da idea de los cambios provocados por la construcción del equipamiento y permitió la apertura de taludes donde existen muy buenos afloramientos de las formaciones descritas.

4.1.2 Informe Geotécnico (Archivo Municipal de Oviedo/Uviéu)

En el año 1998 los arquitectos D. Emilio Llano, D. Carlos Buxadé y D. Joan Margarit conseguían que su proyecto para la edificación del nuevo Estadio Carlos Tartiere fuese el elegido. La ejecución de obras sería a cargo de la empresa DRAGADOS S.A. y se presentó un estudio geotécnico elaborado por la consultoría de ingeniería SEINCO. Dicho estudio consta de una copia archivada en el Archivo Municipal de Oviedo, de acceso público (Fig. 4.1).



Figura 4.1: Portada del Estudio Geotécnico elaborado para la construcción del nuevo Estadio Municipal Carlos Tartiere (AMO, 1998)

En este documento se detallan los trabajos de campo efectuados para el reconocimiento del terreno:

- Seis sondeos de reconocimiento geotécnico (tabla 1) con extracción de testigo continuo (con toma de muestras inalteradas/parafinadas para realizar ensayos de laboratorio), donde se programan ensayos de penetración standard (SPT) en distintos niveles. Cada sondeo adjunta una ficha con la columna estratigráfica y fotografías de las cajas donde se almacena ordenadamente el testigo. (Fig.4.2)



Figura 4.2: Ficha modelo para el fotocontrol de la testificación de sondeos que muestran algunos tramos parafinados para la realización de ensayos de laboratorio (AMO, 1998)

- Se han realizado asimismo 9 ensayos de penetración dinámica continua con un penetrómetro automático MAGERIT (Fig.4.3)



Figura 4.3: Penetrómetro Automático tipo MAGERIT realizando un ensayo de penetración dinámica continua en el entorno del nuevo Estadio Carlos Tartiere (AMO, 1998)

También se enumeran los ensayos de laboratorio realizados: (Fig.4.4)

- Resistencia a compresión uniaxial (Norma UNE-103400)
- Límite Líquido (Norma UNE-103103)
- Límite Plástico (Norma UNE-103104)
- Granulometría por tamizado (Norma NLT-117)
- Apisonado por el método Próctor normal (Norma UNE-130500)
- Ensayos triaxiales

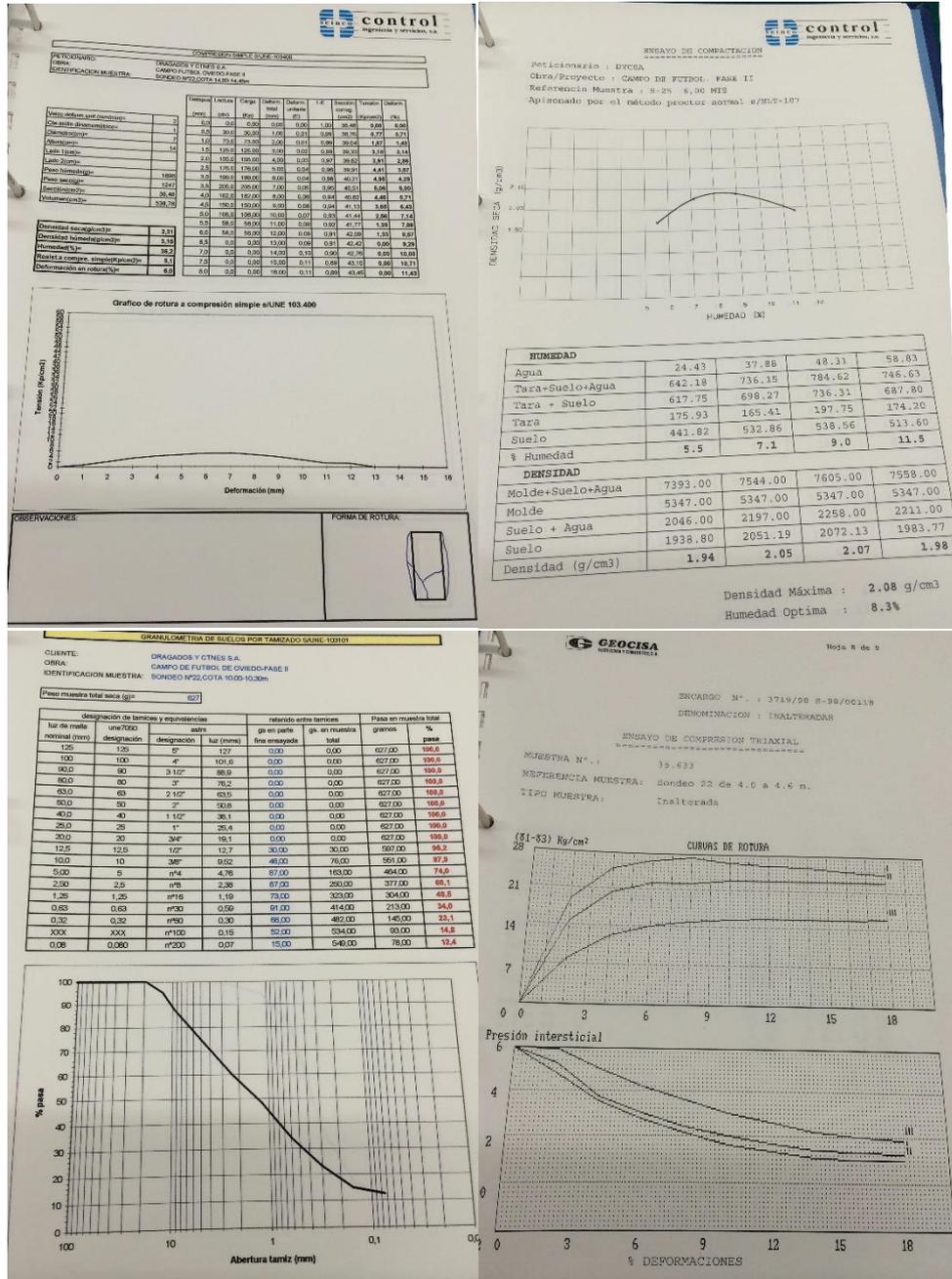


Figura 4.4: Fichas donde se reflejan algunos de los resultados en ensayos de laboratorio (compresión uniaxial, compactación Proctor, granulométrico y ensayo triaxial) (AMO, 1998)

Por otro lado, con los datos obtenidos de los sondeos anteriormente referidos, se elaboraron cortes geológico-geotécnicos y se aportan los datos de control de los niveles freáticos en los mismos (Fig.4.5). Se ha elaborado un perfil longitudinal y transversal con esta información. Ver Anexo II.

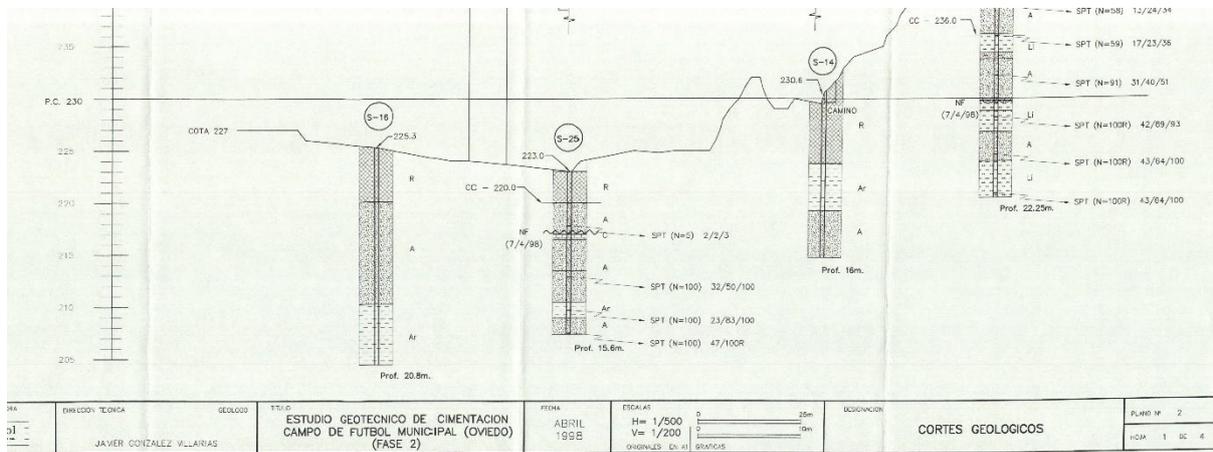


Figura 4.5: Ejemplo de perfiles geológicos elaborados a través del estudio de los testigos obtenidos de la campaña de sondeos (AMO, 1998).

Además del estudio geotécnico, en el expediente se encuentra una memoria del proyecto que incluye los objetivos del proyecto, la urbanización necesaria para comunicar el equipamiento con el resto de la red viaria de la ciudad. También se establece la cota base del terreno de juego, a 230 msnm (Fig.4.6).

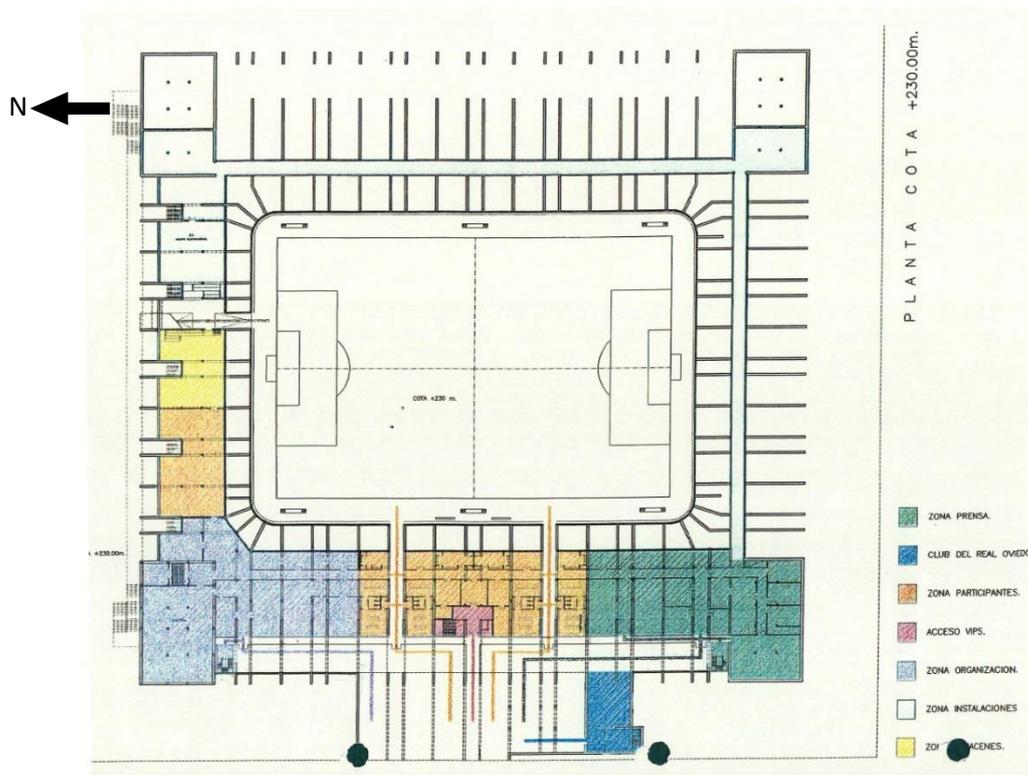


Figura 4.6: Planta cota +230 msnm que corresponde al nivel de base del terreno de juego del Estadio Municipal Carlos Tartiere (AMO, 1998).

La cimentación realizada fue a base de zapatas de hormigón armado con asiento sobre el terreno natural de resistencia adecuada. Se utilizó una tensión para su estimación de 3Kg/cm², pero el propio informe reconoce que debido a la mala calidad del terreno en las cotas superiores ha de realizarse un gran movimiento de tierras para llegar a niveles aptos para la transmisión de estas cargas previstas.

Las zapatas profundas prevén un arriostrado bajo el nivel de enrase de pórticos, lo que supone un elevado costo, a pesar de que también se contempló la posibilidad de realizar cimentaciones complejas por medio de pilotaje.

Sondeo	Prof. (m)	Unidad	Material	N _{SPT}
25	5,06		Arena	5
	10,12	Fm. La	Arena	Rech.
	13,07	Argañosa	Arcilla	Rech.
	15,6		Arena	Rech.
26	3,7		Limo arcilloso	Rech.
	6		Arena	Rech.
	9,13	Fm. La	Limo	Rech.
	12,8	Argañosa	Arena	Rech.
	14,7		Limo	Rech.
27	3,44		Arena	58
	6,62		Limo	59
	10,33	Fm. La	Arena	91
	14,44	Argañosa	Limo	Rech.
	18,01		Arena	Rech.
	21,85		Limo	Rech.

Tabla 1: Resumen de ensayos geotécnicos realizados en sondeos

4.1.3 Información Parques y Jardines

Tras enviar una misiva al alcalde de la ciudad de Oviedo/Uviéu, D. Agustín Iglesias Caunedo, en el mes de mayo de 2015 para solicitar la colaboración del consistorio que dirigía de cara a realizar ensayos y observaciones dentro del Estadio Municipal Carlos Tartiere se establece comunicación con el equipo de Parques y Jardines que gestiona el equipamiento.

Una vez establecida la primera toma de contacto se pone fecha a una reunión de la que se obtienen las siguientes informaciones:

- Bajo el césped del Estadio Municipal Carlos Tartiere existen 8 canales de drenaje longitudinales (en dirección N-S). Lateralmente existe también un drenaje perimetral que recorre del terreno de juego junto con unas arquetas de drenaje de reciente instalación.
- Existe un relleno de unos 60-70 cm de gravas seleccionadas sobre los tubos de drenaje. Por encima se sitúa directamente el tepe de césped.
- La problemática del terreno de juego se atribuye a que la raíz no se desarrolla óptimamente. En los primeros 15 cm del tepe quedan retenidas las aguas de lluvia formando un tempero permanente y es por ello que se levanta y no asienta sobre el sustrato.
- Para paliar la situación en los peores momentos del año se suele pinchar el terreno de juego y se receba con arena de sílice blanca, de tal manera que se reduce la presencia de barro y se mantiene un césped menos inestable.
- Existen zonas del campo especialmente sensibles durante todo el año, lo que se atribuye a la escasa insolación. Se trata, en concreto, en el entorno de la torre SO del estadio, afectando a todo el fondo sur y a la tribuna este. En esa área, además, la temperatura llega en invierno a estar unos 2-3°C por debajo del resto del barrio, lo que inhibe el crecimiento del césped y la evaporación del agua superficial. (Fig. 4.7)
- Se afirma que se han realizado calicatas en el terreno de juego garantizando que el nivel piezométrico no se encuentra sobre la cota del terreno de juego, por lo que no existen flujos de ascenso de agua. Además, se han introducido robots dirigidos por vía remota por los canales del drenaje y se garantiza que están en buen estado. (Fig.4.8)

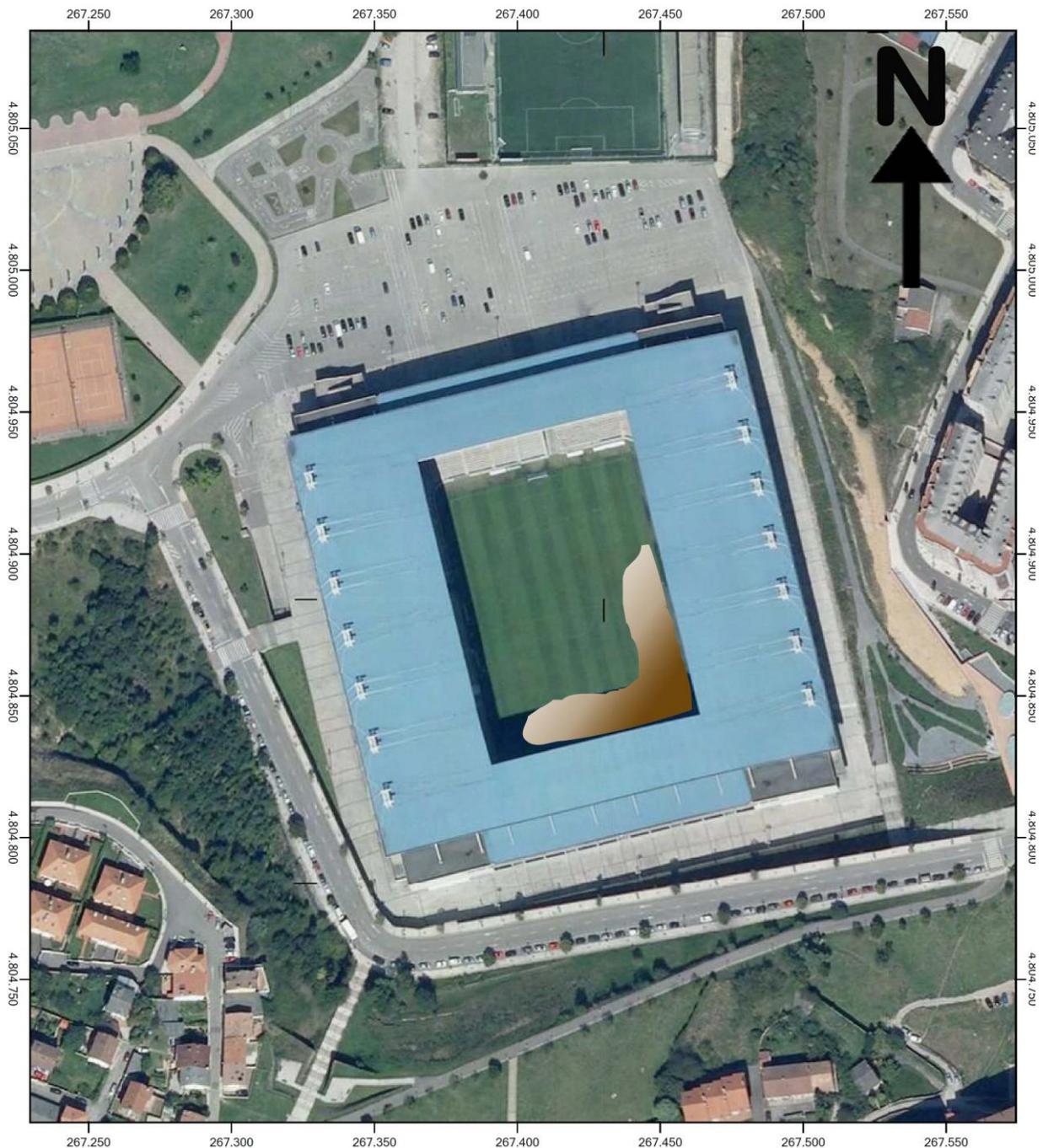


Figura 4.7: Imagen modificada para indicar el área con mayor presencia de agua en el Estadio Municipal Carlos Tartiere. Las zonas más afectadas coinciden con el entorno de la torre SO y el fondo sur. Plan Nacional de Ortofotografía Aérea de España (PNOA) y topografía 1:2500. Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN).

- Por último, se informa de que han existido inestabilidades de ladera en el talud sur de la zona de estudio. Un informe de una consultoría, tras realizar trabajos de campo, aseguraba que existía una gran zona saturada en agua que no podía ser evacuada por la presencia de un muro pantalla de tierra que impermeabiliza el talud. Entre las recomendaciones llegaba incluso a plantearse la posibilidad de perforar varios pozos para bombear esa agua, que podría ser empleada para regar el campo. Esta propuesta, finalmente, se desechó por ser inviable económicamente.



Figura 4.8: Robot de propiedad municipal empleado para revisar el estado de los canales longitudinales de drenaje del Estadio Municipal Carlos Tartiere (LNE, 2012).

4.2 Resultados del trabajo de campo

4.2.1 Reconocimiento geológico del área de estudio

Tras la fase de documentación, las tareas se centraron en realizar un reconocimiento geológico de la zona de estudio para comparar estas observaciones de campo con la información bibliográfica analizada previamente.

El entorno del nuevo Estadio Carlos Tartiere, a pesar de estar completamente urbanizado, sigue presentando algunos afloramientos geológicos accesibles. Sin embargo, la mayor parte de los taludes donde se podrían realizar observaciones, o bien están completamente antropizados y removilizados o están cubiertos de vegetación.

En la siguiente imagen podemos ver la localización actual de cuatro afloramientos donde se realizaron las observaciones (Fig. 4.9). Corresponden a los contactos entre la Fm. Oviedo y Fm. La Argañosa (punto 1), Fm. Oviedo y calizas y margas del Paleógeno (punto 2) y Fm. Oviedo (puntos 3 y 4).



Figura 4.9: Distribución de los afloramientos geológicos observables en la actualidad en el entorno de nuevo Estadio Carlos Tartiere (Fuente: IGME).

- Afloramiento 1:

En este punto, situado en el talud occidental del área de estudio, se reconoce el contacto entre el techo de la Fm. La Argañosa, constituido por areniscas de grano grueso y gravas silíceas amarillentas muy poco cementadas y las calizas grainstone pardo-amarillentas de la Fm. Oviedo dispuestas pseudohorizontales (Fig. 4.10). El contacto es neto y no presenta karstificaciones en este afloramiento. Sin embargo, en las fotografías históricas de que se dispone se pueden observar contactos muy ondulantes debido a la presencia de procesos de intensa karstificación y a fracturas verticales que generan un escalonado en los estratos de las calizas de la Fm. Oviedo.

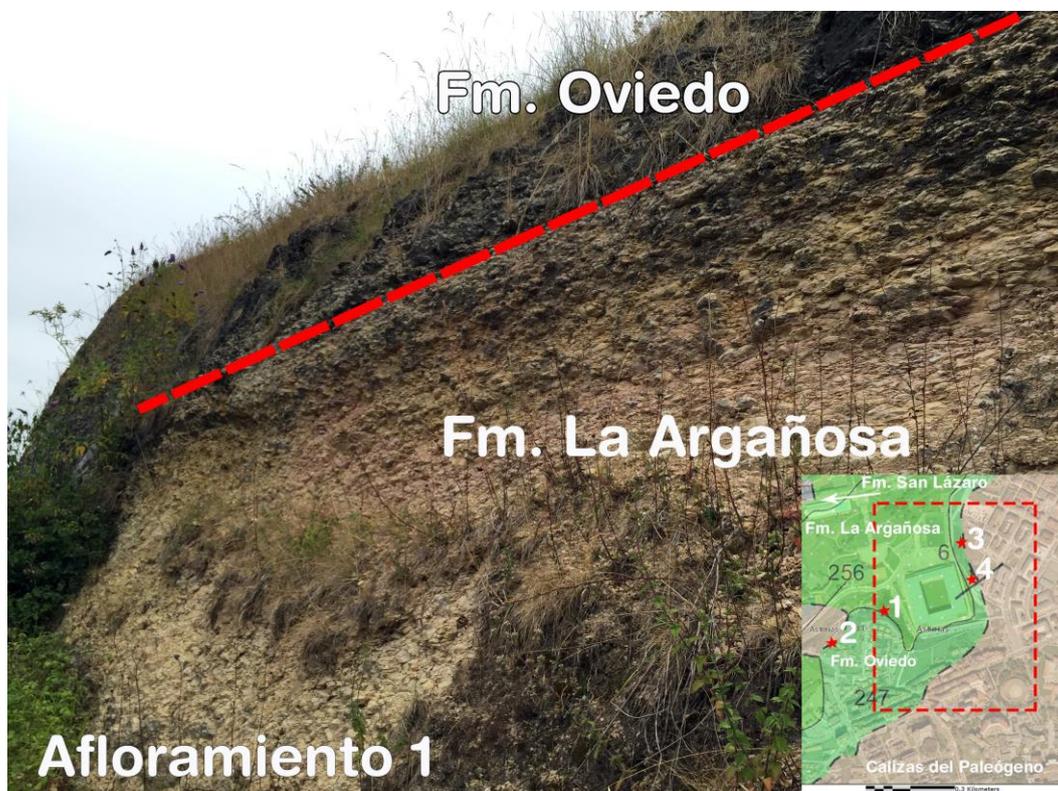


Figura 4.10: Afloramiento 1, donde se puede ver el contacto entre la Fm. Oviedo y la Fm. La Argañosa en el talud más occidental en el que está enclavado el nuevo Estadio Carlos Tartiere.

- Afloramiento 2:

Aunque este punto queda fuera del área de estudio resulta interesante porque permite acceder de manera muy fácil a las calizas de la Fm. Oviedo (Fig. 4.11). A escala de afloramiento encontramos unos 2 m de calizas de color pardo-amarillento similares a las correspondientes a la misma formación en el Afloramiento 1.



Figura 4.11: Afloramiento donde se observan 2m de calizas grainstone pardo-amarillentas de la Fm Oviedo.

- Afloramiento 3:

Corresponde a la parte oriental de la zona de estudio, en el talud este. Se observa un contacto ondulante entre las calizas pardo – amarillentas de la Fm. Oviedo y las gravas y areniscas de grano grueso de la Fm. La Argañosa. La geometría de los estratos es subhorizontal (Fig. 4.12)



Figura 4.12: Afloramiento 3, en la parte más septentrional del talud este del área de estudio.

- Afloramiento 4

En este afloramiento, situado en la parte más meridional del talud este en el área de estudio, se reconocen las calizas grainstone pardo-amarillentas de los primeros metros de la Fm. Oviedo situadas sobre las arenas y gravas siliciclásticas de la Fm. La Argañosa. (Fig. 4.13)



Aunque el contacto en el escaso talud que se puede observar es bastante lineal hay documentación fotográfica histórica que evidencia la existencia de un contacto muy ondulante con zonas muy karstificadas (Fig. 2.9, 2.10 y 4.14)

En esta zona, durante la fase posterior a la explotación de calizas en la cantera, se construyeron galerías horizontales con dirección O-E para la extracción de arenas.

Dichas galerías, que tenían tamaño métrico y en las que podía incluso entrar a realizar labores de carga un camión, tenían como techo las calizas de la Fm. Oviedo. Fueron estudiadas en 2000 para evitar problemas en las cimentaciones (instalación de zapatas en cavidades, etc.) cuando comenzó a edificarse el barrio de La Ería/La Iría.

Es de utilidad recurrir a una fotografía de julio del año 2000 donde se puede ver el contacto entre ambas formaciones en el mismo talud antes de que estuviese recubierto de vegetación. (Fig.4.14)

Figura 4.13 Afloramiento 4, en la zona más al sur del talud oriental de la zona de estudio donde se observa el contacto entre calizas de la Fm. Oviedo y areniscas y gravas de la Fm. La Argañosa.

Es de utilidad recurrir a una fotografía de julio del año 2000 donde se puede ver el contacto entre ambas formaciones en el mismo talud antes de que estuviese recubierto de vegetación. (Fig.4.14)

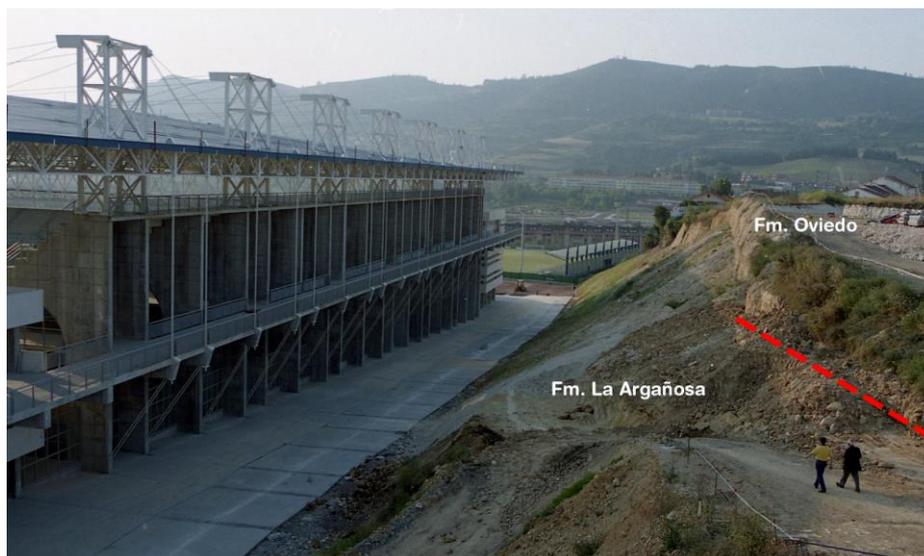


Figura 4.14: Talud este del área de estudio en la última fase de urbanización, en julio del año 2000. Se observa la disposición natural del contacto entre las Fm. Oviedo y La Argañosa, presentando un contacto ondulante debido a los procesos de karstificación. (cortesía de LNE)

Resumen:

- En el área de estudio afloran dos litologías: las correspondientes a las Fm. La Argañosa (areniscas de grano medio y grueso y gravas siliciclásticas amarillentas y poco cementadas) y Fm. Oviedo (calizas grainstone pardo-amarillentas que se presentan pseudohorizontales en el área de estudio y cuyo contacto tiende a ser ondulado como consecuencia de procesos de karstificación y fallas subverticales en las calizas de la Fm. Oviedo que generan saltos de escalón sobre la Fm. La Argañosa. (Fig. 4.15).
- Los afloramientos son escasos debido a la revegetación del entorno de los taludes, aunque un visionado de fotografías históricas del momento en que se excavaron puede aportar información adicional para entender su disposición espacial. (Figs. 4.16 y 4.17).



Figura 4.15: Panorámica E-O realizando una mirada desde la zona norte del área de estudio hacia el sur que muestra los contactos entre las Fm. Oviedo y Fm. La Argañosa en los taludes E y O del nuevo Estadio Carlos Tartiere de Oviedo/Uviéu.



Figura 4.16: Fotografía del mes de julio del año 1998 desde el talud oeste. Se observa el proceso de desmonte del talud este con el contacto entre la Fm. Oviedo y la Fm. La Argañosa. Su geometría corresponde a la existencia de karstificación y la entrada de una galería para explotar las arenas de la Fm. La Argañosa en el límite con la Fm. Oviedo (cortesía LNE)



Figura 4.17: Fotografía de febrero del año 1999, desde el talud este del área de estudio. Se observa el talud oeste, con el contacto entre la Fm. Oviedo y la Fm. La Argañosa (cortesía de LNE)

4.2.2 Observaciones de tipo geomorfológico

Como se puede ver en la Figuras 4.16 el proceso de construcción del nuevo estadio generó una gran removilización de tierras y una variación total de la topografía y morfología del área de estudio. En este capítulo se analizan las características geomorfológicas derivadas de la urbanización.

La geomorfología está controlada, por un lado, por las características de las formaciones geológicas presentes en el área de estudio (características físicas, estructura y orientación). Por otro lado, son de gran importancia el factor topográfico y la acción del principal agente geológico externo: el agua.

En el área encontramos dos movimientos de ladera (puntos 1, 2 y 3), ejemplos de surgencias y filtraciones de agua (puntos 4 y 5) y procesos erosivos en ladera (piping) (punto 6). Todos ellos están asociados a las arenas y gravas siliciclásticas de la Fm. La Argañosa, aunque también se describe actividad kárstica y hundimiento de bloques asociados a fracturas en la Fm. Oviedo (puntos 7 y 8). (Fig. 4.18).



Figura 4.18: Distribución de las observaciones en el área de estudio.

- Movimientos de ladera

Se producen como consecuencia de la inestabilidad en los taludes excavados en la Fm. La Argañosa que, al estar formada por arenas y gravas siliciclásticas en ocasiones poco cementadas, se comportan como materiales que, en presencia de agua procedente de precipitaciones, tiende a desplazarse ladera abajo. (Fig. 4.19).

Se observan movimientos de ladera en los tres taludes entre los que está situado el nuevo Estadio Carlos Tartiere; es por ello que se han introducido medidas de contención (escolleras) en todos ellos.



Figura 4.19: Punto 1: Movimiento de ladera (argayu) ocurrido en el mes de mayo de 2015, tras una intensa semana de lluvias en el talud oeste del área de estudio. Nótese los materiales implicados: arenas siliciclásticas blanco-amarillentas muy disgregadas. Punto 2: Movimiento de ladera en el talud este del área de estudio. Punto 3: Cicatriz erosiva y formas provocadas típicamente en taludes inestables.

- Surgencias y filtraciones de agua:

Como se ha descrito en el apartado sobre las características hidrogeológicas de las formaciones geológicas presentes en el área de estudio, la Fm. La Argañosa es una de las unidades acuífero principales del subsuelo de la ciudad de Oviedo/Uviéu. Este acuífero, que recibe el nombre de “Acuífero superior (ak1)” tiene una permeabilidad que puede variar entre 10^2 y 10^4 m/día.

A lo largo de todo el perímetro de la Calle Ricardo Vázquez Prada, que circunvala el estadio, existen amplias cunetas para recoger los caudales de agua que provienen de los taludes. También abundan las rejillas de alcantarilla a lo largo de los pavimentos

que dan acceso al estadio municipal. Del mismo modo, la zona de las escaleras de acceso al barrio de El Cristo, en el extremo SO del área de estudio, están repletas de humedades que provocan que se desprendan las losas de los escalones (Fig. 4.20).



Figura 4.20: Punto 4: Surgencias de agua en el talud este del área de estudio, que se filtra bajo la escollera. En el Punto 5: Se observa la zona SO del área de estudio, con gran presencia de filtraciones y humedades a lo largo del muro pantalla y la vaguada que ocupan las escaleras de acceso al barrio de El Cristo.

- Procesos erosivos en arenas (piping)

Las arenas y gravas siliciclásticas de la Fm. La Argañosa son muy susceptibles de sufrir procesos erosivos debido a su escasa cementación. En el talud oeste del área de estudio existen algunos puntos donde tienen lugar estos procesos erosivos que generan formas acanaladas. (Fig. 4.21)



Figura 4.20: Punto 6: Acanaladuras generadas por los procesos erosivos en las arenas de la Fm. La Argañosa.

- Procesos kársticos y fracturas subverticales:

Las calizas de la Fm. Oviedo son unas calizas grainstone que se sitúan estratigráficamente sobre las areniscas y gravas de la Fm. La Argañosa. Son muy frecuentes los fenómenos de decalcificación y karstificación en el área de estudio, en muchas ocasiones precisamente en el contacto entre las dos formaciones, lo que le da una geometría ondulante al contacto en esta zona. (Fig. 4.21)

Además, también existen unas fracturas y diaclasas subverticales descritas en la bibliografía que se observan en el talud más occidental y que generan un efecto de “escalonado” en las capas de calizas, aumentando la inestabilidad de la ladera.

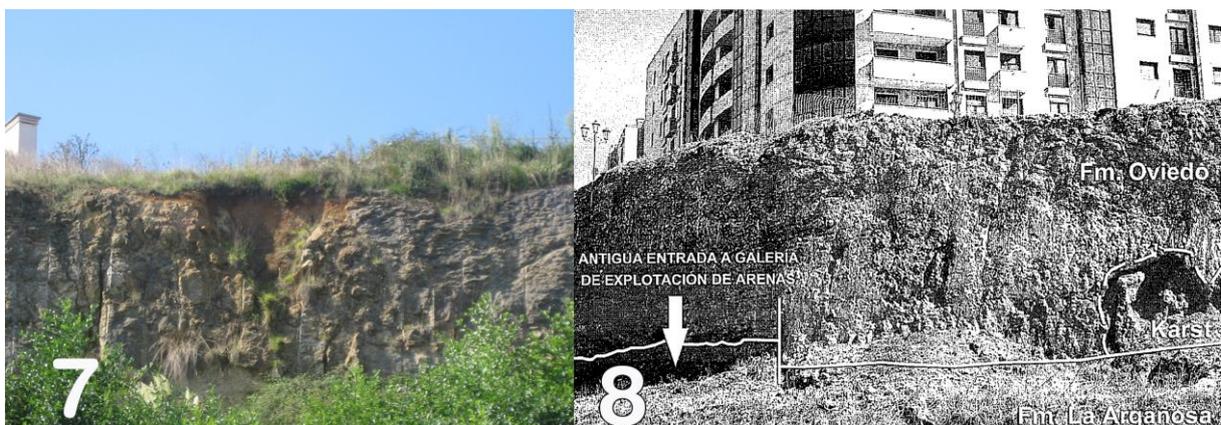


Figura 4.21: Punto 7 y 8: Procesos de karstificación existentes en los taludes del área de estudio en el momento previo a la construcción. (Cortesía de Luis Pando)

4.2.3 Observaciones dentro del estadio municipal

Tras entablar contactos con el Real Oviedo S.A.D., club arrendatario del Estadio Carlos Tartiere, se solicita su permiso para realizar observaciones en el interior del equipamiento deportivo.

El objetivo es realizar una cartografía de humedades y surgencias en el interior del estadio y buscar otros rasgos geológico-geotécnicos que aporten información sobre la relación del estadio con el medio geológico infrayacente.

- Humedades y surgencias

Las observaciones se localizan en torno a la torre sureste del estadio municipal (Fig. 4.22). En esta zona encontramos abundante cantidad de humedades y surgencias de agua, que fluyen por los agujeros del encofrado de hormigón de la grada bajo los asientos (Fig.4.23). Se ve gran cantidad de algas y manchas de óxido, estando gran parte de los soportes asientos en esta zona totalmente corroídos por acción del agua.

El agua, en este sector, vierte directamente al terreno de juego, que aunque posee una pequeña rejilla perimetral de drenaje, se encuentra totalmente encharcado durante prácticamente todo el año. Además, en la zona de bares situada en la parte baja de la torre sureste se observa presencia de manchas y humedades que evidencian la salida de agua (Fig. 4.24).

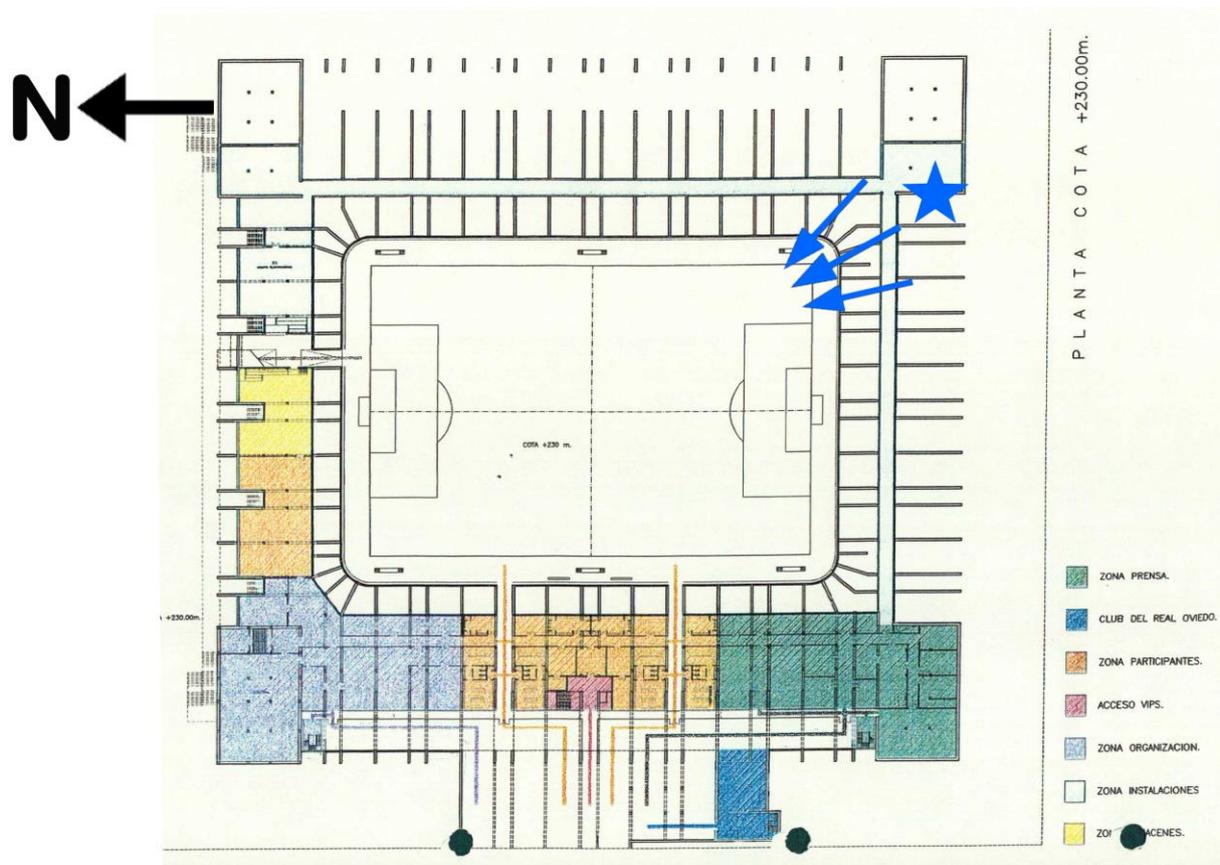


Figura 4.22: Plano de la planta inferior del estadio. En la torre SE se localizan la mayor parte de problemáticas relacionadas con surgencias y humedades. (La posición de estas se han indicado mediante flechas azules).



Figura 4.23: Surgencias de agua bajo los asientos del estadio en tiempo de lluvias. Estas aguas vierten directamente al terreno de juego sedimentando arenas de grano medio amarillentas. Tomada en marzo de 2015.

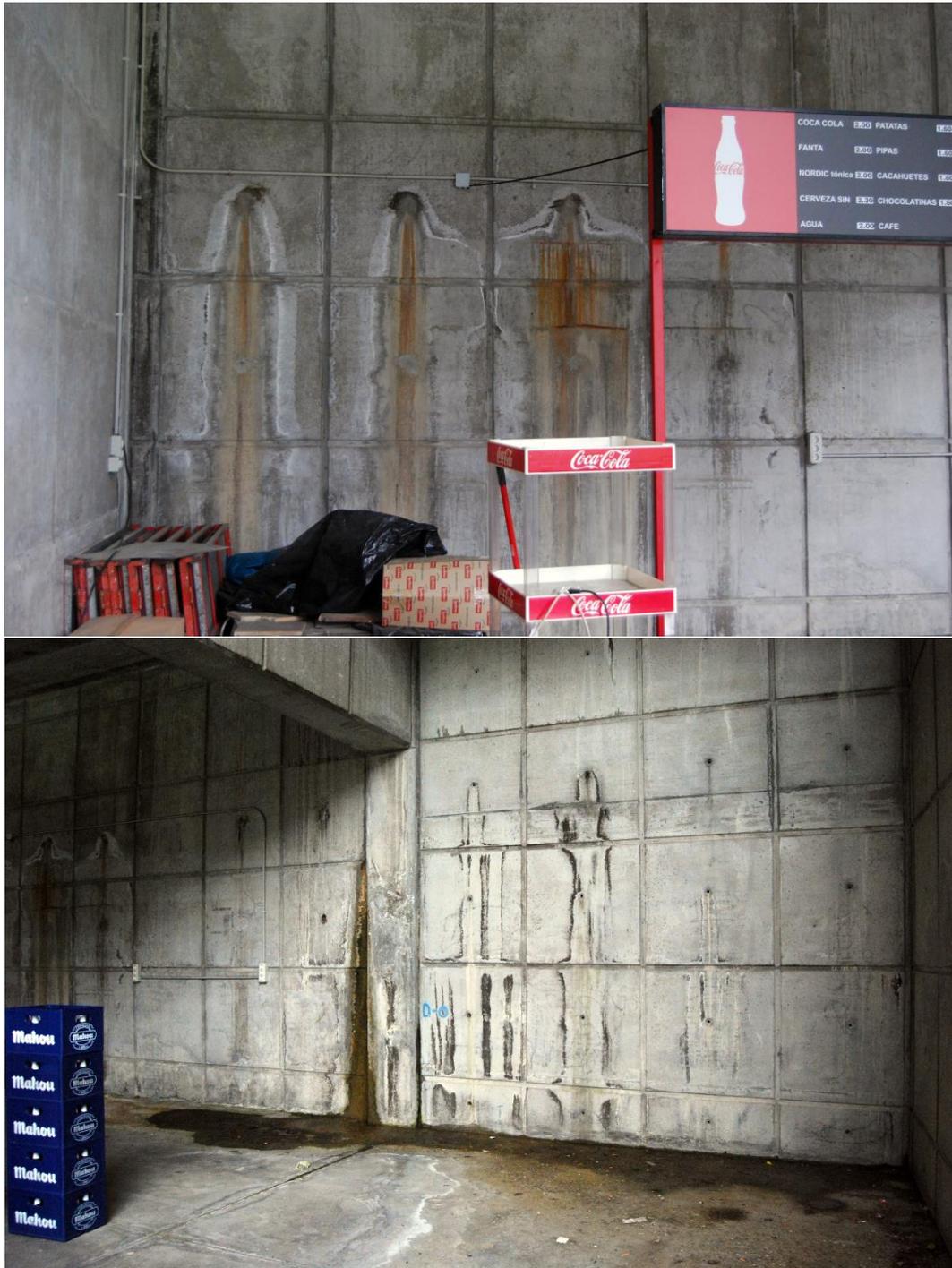


Figura 4.24: Humedades en la parte más baja de la torre sureste del estadio. Fotografías de marzo de 2015.

En esta área del estadio se realizaron observaciones en distintas épocas del año, siendo constante la presencia de humedades y surgencias, como queda patente por ejemplo, por la existencia de moho, independientemente de la pluviosidad del momento.

Si bien el flujo es constante todo el año, en momentos de lluvias el caudal que recibe el terreno de juego aumenta considerablemente (Fig. 4.25). El área de descarga en el campo de fútbol coincide con la zona más sombría que, salvo durante el verano, se encuentra en penumbra permanente.



Figura 4.25: Fotografía tomada desde la esquina sureste del estadio. Aspecto que presenta el terreno de juego en las épocas de mayor pluviosidad. Nótese que aparece más afectado en la mitad sur del mismo.



Figura 4.26: Entrada al parking del estadio presentando filtraciones.

Sin embargo, esta zona del estadio no es la única que presenta humedades. La entrada al parking subterráneo, situada en la tribuna oeste, que se encuentra a la misma cota que el terreno de juego (227 msnm) también presenta evidencias de filtraciones de agua, con presencia de humedades y algas durante todo el año (Fig. 4.26).

- Observaciones geotécnicas en el nuevo Estadio Carlos Tartiere:

Se localizaron, en el fondo sur, dos puntos susceptibles de ser reseñados en este apartado. En primer lugar, se halla una fractura subvertical que recorre toda la grada desde su parte alta a la inferior y que genera un escalón de unos 5 cm (Fig. 4.27). Dicho salto provoca que, aproximadamente, la mitad oriental del fondo sur se encuentre deprimida respecto a la otra mitad occidental. Esta rotura con desplazamiento parece corresponder a un asiento diferencial de la grada cimentada en la formación La Argañosa.



Figura 4.27: Asiento diferencial en el fondo sur del estadio. La zona oriental, desde donde está tomada la imagen, queda deprimida respecto a la zona occidental unos 5 cm aproximadamente misma grada sur.

Por otra parte, a la altura de las puertas de acceso 21 y 22, situadas en el fondo sur, se encuentra una zona vallada como consecuencia del hundimiento del pavimento en ese punto. (Fig. 4.28)

El emplazamiento de este hundimiento se produce al nivel de la calle que da acceso a la grada, entre el muro pantalla y las puertas de acceso, y tiene una profundidad aproximada de 1,50 m. El interior del socavón generado se encuentra relleno por arenas amarillentas.



Figura 4.28: Localización del hundimiento, de unos 1,50 m de profundidad, del pavimento en la calle de acceso al fondo sur del nuevo Estadio Carlos Tartiere. La zona se encuentra vallada en la actualidad.

4.3 Representación en GIS de la removilización histórica de tierras

Como hemos repetido en varias ocasiones a lo largo del presente trabajo, la morfología de las zonas urbanas es muy cambiante con el tiempo. El caso del entorno del nuevo Estadio Carlos Tartiere es paradigmático, con la existencia de una cantera desde, al menos, el siglo XVI que ha ido variando la topografía hasta nuestros días.

Se ha tenido acceso a topografías de tres períodos distintos del último medio siglo, sobre las cuales poder realizar un trabajo comparativo mediante el uso de un sistema de información geográfica (GIS).

En concreto, se trata de las topografías de los años 1965, momento en el que la cantera de Lavapiés dejaron de explotarse las calizas (Pando et al., 2011); 1997, justo antes de comenzar las obras de desmonte para la ubicación del equipamiento deportivo y 2000, una vez terminada la construcción del estadio.

Los datos topográficos de 1965 han sido digitalizados a partir de los documentos relativos al Plan General de Ordenación Urbana, conocido como el “Plan Mesones” en alusión a su redactor, depositados en el Archivo Municipal de Oviedo. Por otro lado, las topografías de los años 1997 y 2000 existen en formato digital, siendo la última obtenida por medio de la tecnología LiDAR.

En las fotografías (Fig. 4.29) se puede observar el cambio de la morfología a lo largo de estos años.

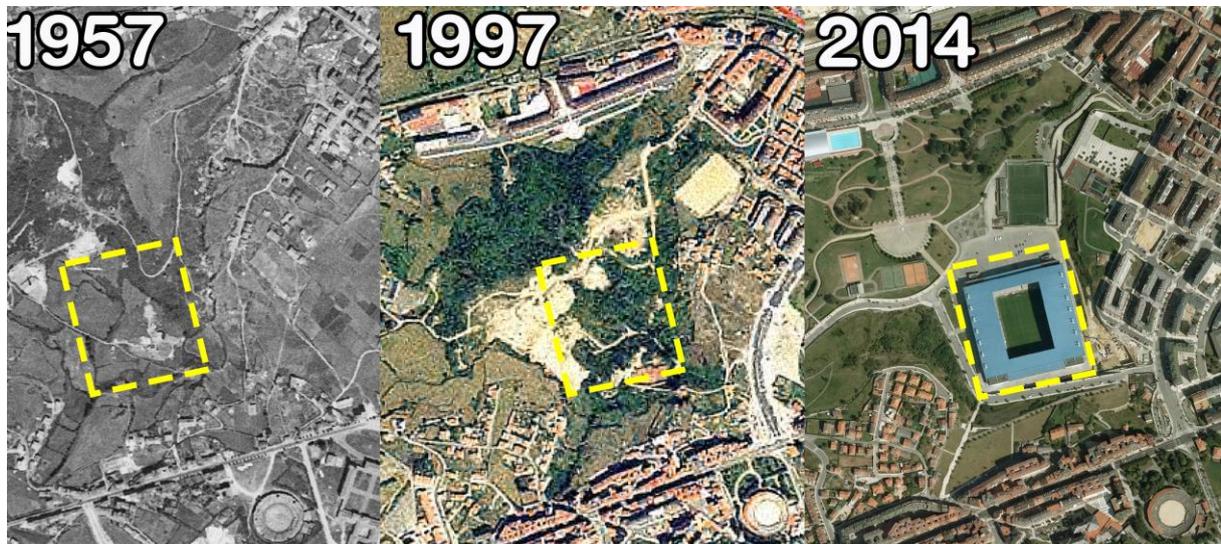


Figura 4.29: Tres ortofotografías de los años 1957, 1997 y 2014 de la zona de estudio, donde se puede ver la variación del entorno donde posteriormente se emplazaría el nuevo Estadio Carlos Tartiere (línea de puntos).

Como se observa, la topografía, usos y ocupación del territorio cambian completamente en los últimos 50 años. En la primera fotografía se observan las zonas donde se explotaba la caliza, en la fotografía de 1997 se observa el emplazamiento de una tejera para el aprovechamiento de las arcillas, en la última fase de ampliación de la cantera, y por último, en la imagen de 2014 se refleja a la situación actual.

A partir de los datos topográficos de 1965 vectorizados se genera un Modelo Digital de Elevaciones (Fig. 4.30) con resolución de 5 metros en el que se mantienen, para

facilitar la orientación, las líneas del terreno de juego, de tal manera que se pueda entender bien la variación producida.

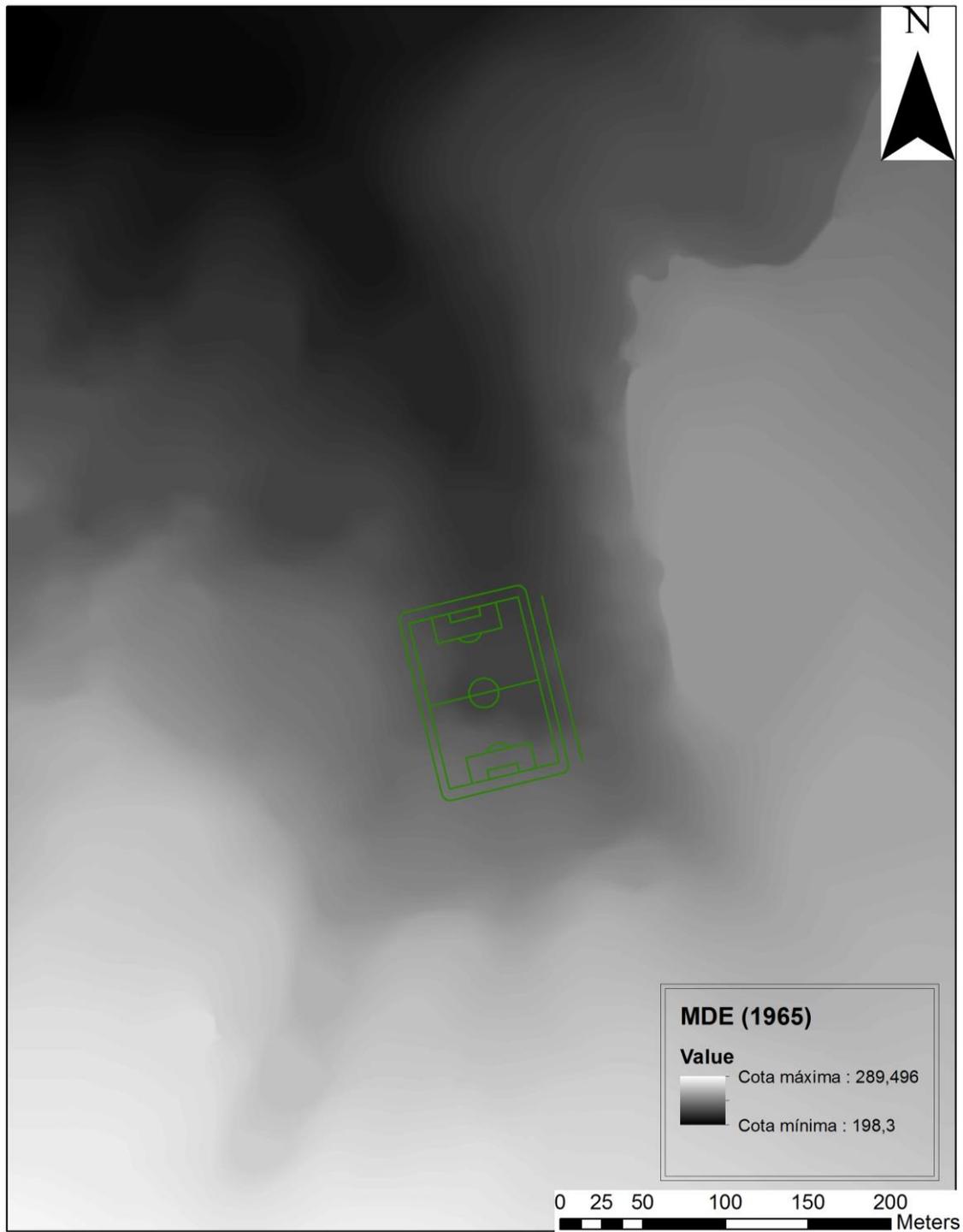


Figura 4.30: Modelo Digital de Elevaciones en el año 1965. Las zonas más claras equivalen a las partes elevadas y las más oscuras a las más deprimidas. Se adjuntan las líneas del nuevo Estadio Carlos Tartiere a nivel puramente orientativo.

También se generaron mapas de pendientes (Fig. 4.31) del mismo año 1965 a partir de la topografía digitalizada.

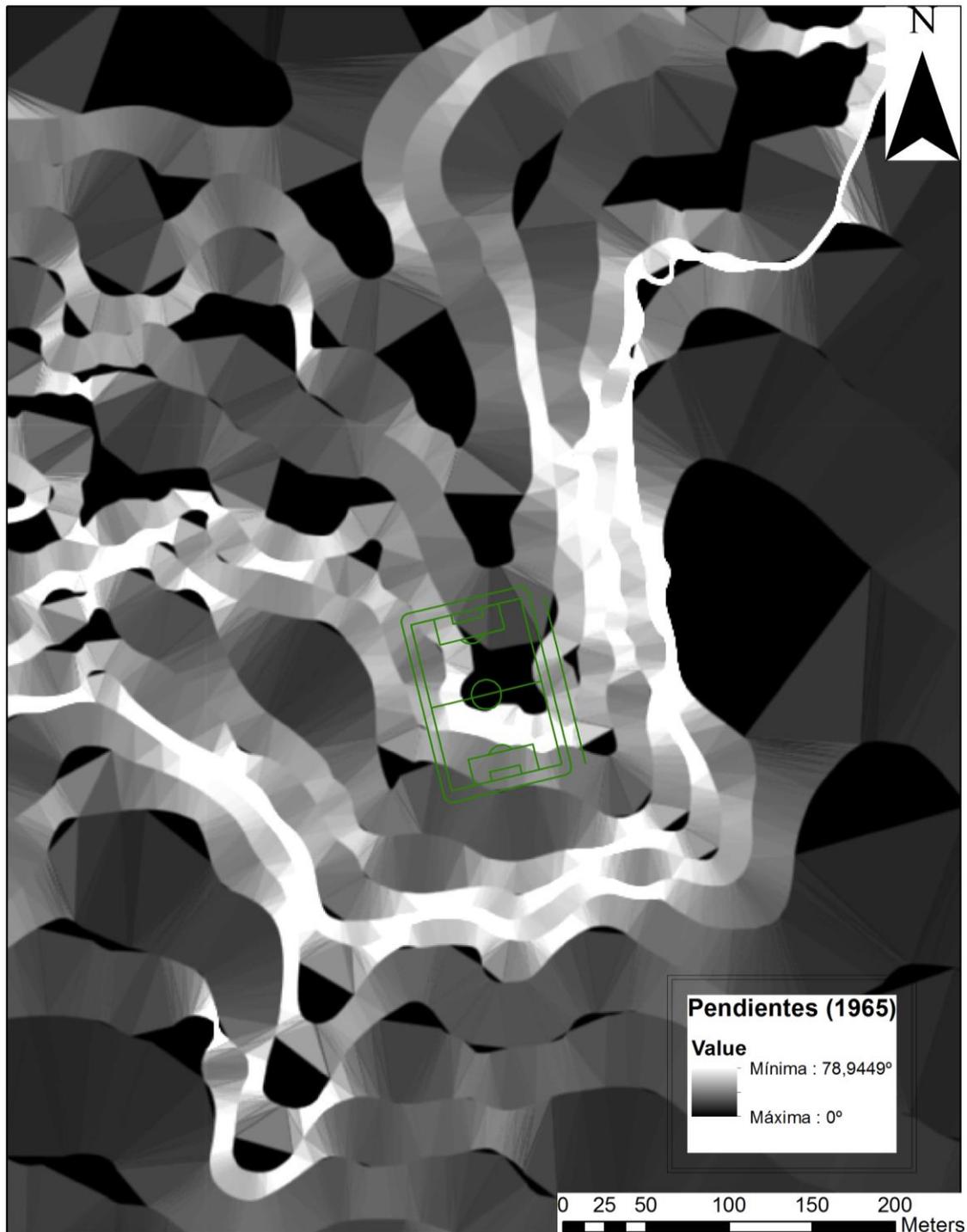


Figura 4.31: MDT de pendientes de la zona de estudio según la topografía de 1965 generado mediante GIS. Las zonas más claras del centro evidencian la existencia de frentes de avance de la cantera de calizas hasta esa época. Se adjuntan las líneas del nuevo Estadio Carlos Tartiere a nivel puramente orientativo.

Se realiza también un cálculo de las líneas de flujo para la topografía del año 1965, que muestra la red de drenaje superficial en esta microcuenca, su nivel de base y su zona de descarga hacia el NNO (Fig. 4.32).

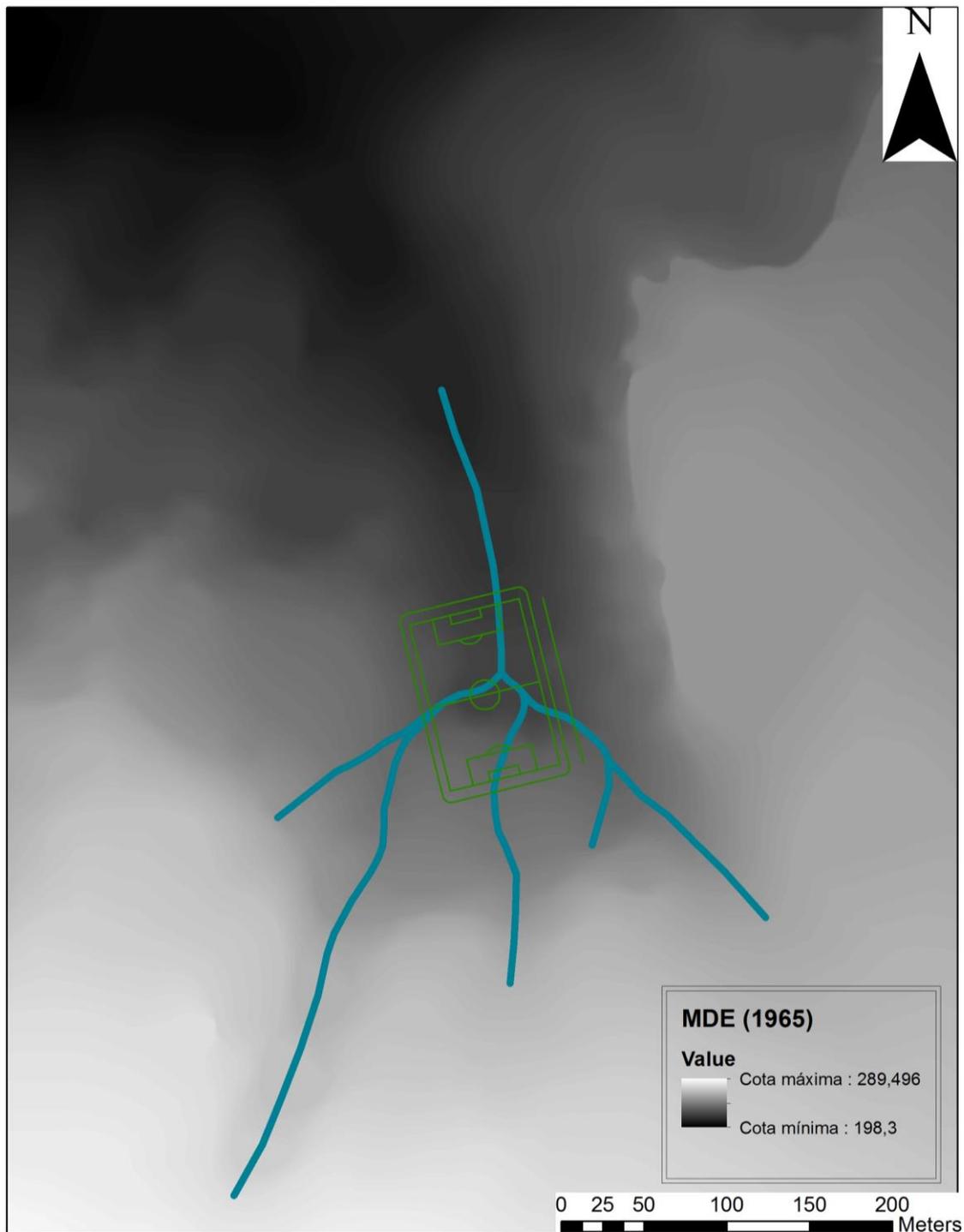


Figura 4.32: Modelo de drenaje de la zona de estudio hacia 1965 sobre el Modelo Digital de Elevaciones. Se adjuntan las líneas del nuevo Estadio Carlos Tartiere a nivel puramente orientativo.

Trabajando del mismo modo, se realiza la misma operación con las topografías de 1997 y 2000, obteniendo los Modelos Digitales de Elevaciones respectivos (Fig. 4.33).



Figura 4.33: Modelo Digital de Elevación generado en un sistema de información geográfica (GIS) a partir de los datos obtenidos mediante la técnica de LiDAR para el año 2000, tras la construcción del nuevo Estadio Carlos Tartiere y la urbanización de su entorno. Respecto a las anteriores imágenes obtenidas se observa que, para la misma área de estudio, la cota máxima ha aumentado y la mínima ha descendido.

Una vez obtenidos los tres modelos digitales de elevación correspondientes a los años 1965, 1997 y 2000 del área de estudio se comparan las variaciones de cota exclusivamente en el ámbito del terreno de juego del nuevo Estadio Carlos Tartiere (Fig. 4.34a y 4.34b).

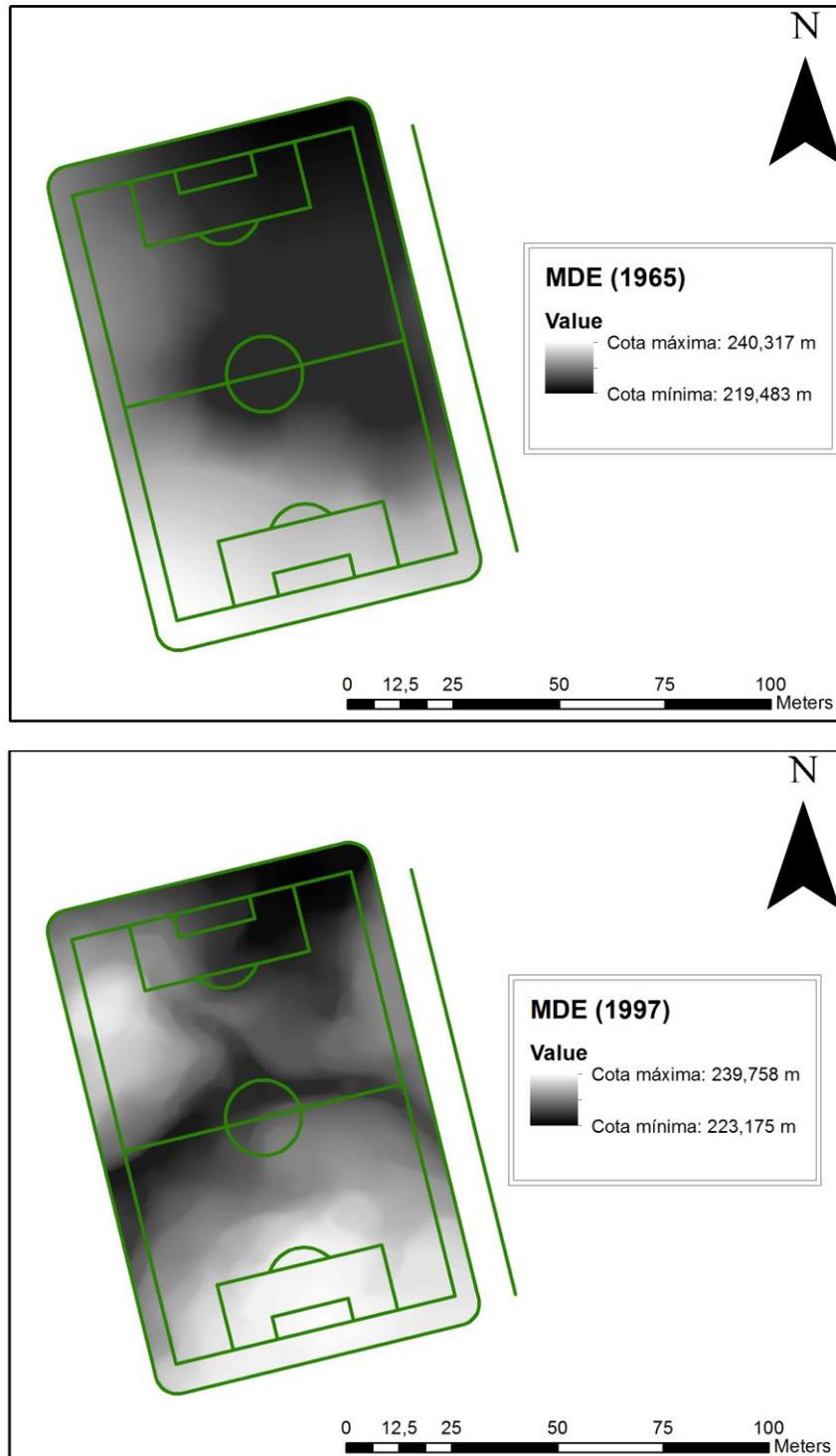


Figura 4.34a: Modelos Digitales de Elevaciones (MDE) de los años 1965 y 1997 generados mediante GIS en el área que a partir del año 1999 ocupa el terreno de juego del nuevo Estadio Carlos Tartiere de Oviedo/Uviéu.

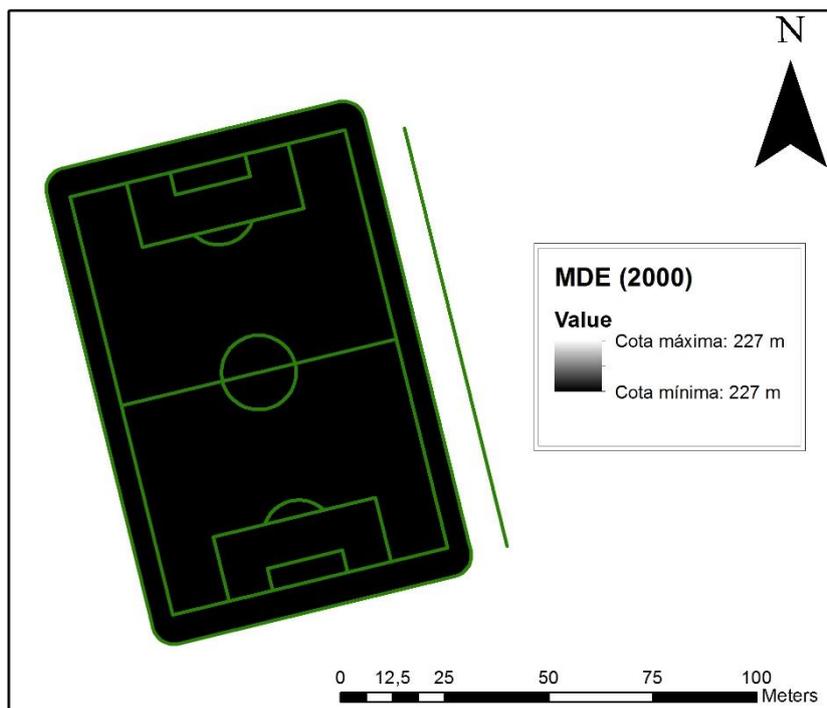


Figura 4.34b: Modelos Digitales de Elevaciones (MDE) del 2000 generados mediante GIS. La superficie del nuevo Estadio Carlos Tartiere aparece como una superficie horizontal a una cota de 227 m.

En el primero de ellos (año 1965) tenemos una cota máxima de 240 msnm en el terreno de juego, que en el estado actual (año 2000, hasta nuestros días) llega a ser de 227 msnm, como consecuencia de la excavación llevada a cabo para la construcción del equipamiento deportivo.

Nótese que en el MDE del año 1997 existe lo que podría ser un camino de paso dentro de la antigua zona de cantera, reconvertida en industria tejera para aprovechamiento de arcillas.

Como no podía ser de otra manera, el MDE del año 2000 es una capa llana de cota estable a 227 msnm. Cabe reseñar que en el estudio geotécnico y en el informe de ejecución de obras se contemplaba una cota de ese nivel de base del estadio de 230 msnm. Por tanto, hubo una excavación 3 m más profunda de lo planeado.

A continuación, se ha realizado una operación consistente en combinar los tres Modelos Digitales de Elevaciones (de los años 1965, 1997 y 2000) del terreno de juego para controlar, en cada período de tiempo (1965-1997 y 1997-2000), en qué zonas del mismo ha habido excavación (descenso de cota) y relleno (con aumento de cota) (Fig. 4.35).

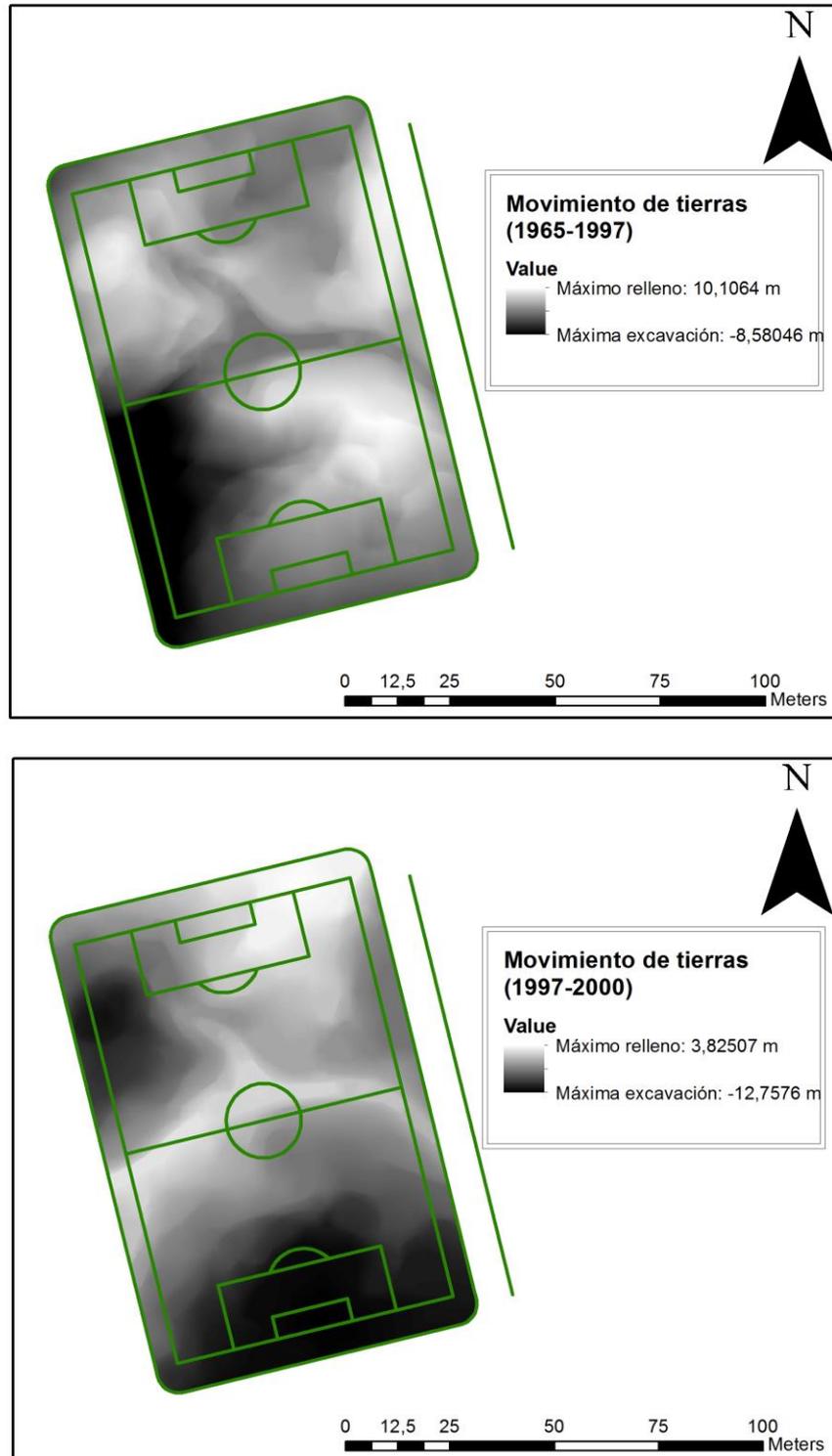


Figura 4.35: Comparativa de movimientos de tierras entre los años 1965-1997 y 1997-2000 generados mediante sustracción de MDE. Se observan rellenos (zonas claras) y excavaciones (zonas oscuras).

Por último, se genera un solo archivo en el que se compara el movimiento de tierras entre el estado más antiguo estudiado (año 1965) y el estado actual (Fig. 4.36).

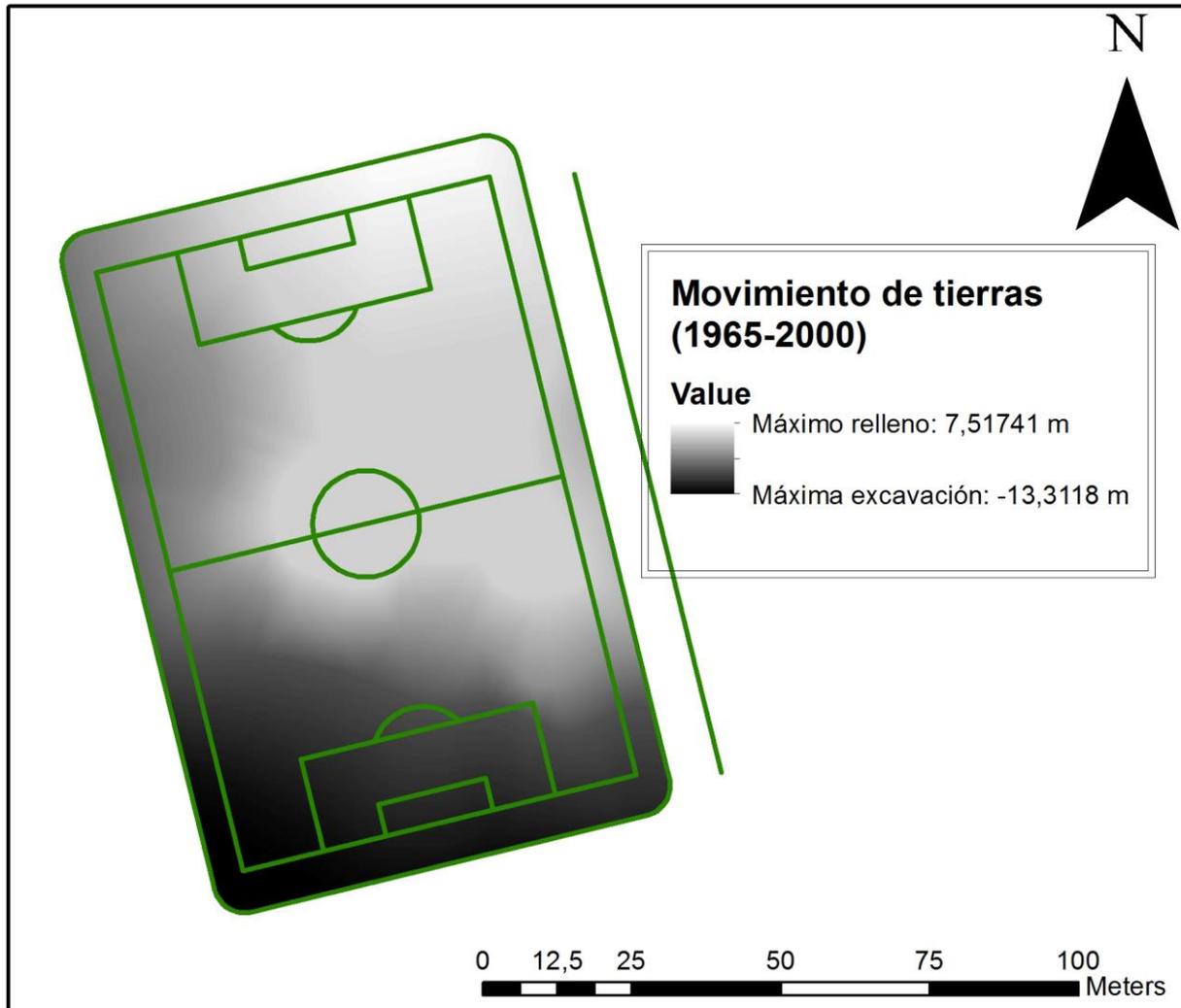


Figura 4.36: Comparativa de movimiento de tierras entre los años 1965 y 2000 generado a través de un sistema de información geográfica (GIS) sobre el terreno de juego del nuevo Estadio Carlos Tartiere de Oviedo/Uviéu. Las zonas más oscuras representan zonas de excavación, que llegan hasta los 13 metros en algunos puntos. Por el contrario, las zonas más claras suponen áreas rellenadas respecto a la cota de 1965 para la construcción del equipamiento deportivo.

Se observa que, para la construcción del estadio, hubo un proceso de excavación a lo largo de todo el fondo sur del estadio, apoyándose el estadio en el sustrato rocoso, mientras que la parte situada en la mitad norte vio su cota elevarse por relleno de materiales entre los años 1965 y 2000.

4.4 Interpretación de las líneas de tomografía eléctrica obtenidas

Por último, como ya se ha explicado en anteriores apartados, se realizó una campaña de geofísica en el terreno de juego del Estadio Carlos Tartiere. Se analizaron 5 líneas de las cuales 3 fueron longitudinales y 2 transversales con una configuración dipolo-dipolo. (Fig. 4.37)

Las líneas longitudinales, paralelas a las tribunas del estadio y obtenidas en sentido norte a sur, tienen una longitud de 112 m con 56 electrodos dispuestos con una separación de 2 m. Esta disposición

permitió alcanzar una profundidad de hasta 26 m.

Las líneas transversales, paralelas a los fondos del estadio y obtenidas en sentido oeste a este, tienen una longitud de 71,5 m con 56 electrodos dispuestos a una distancia de 1,30 m. Esta disposición permite alcanzar profundidades de hasta 16 m.

Tras la obtención de los datos mediante un equipo multicanal SuperStingR8 de Advanced Geoscience, Inc., se realizaron dos inversiones para cada una de las líneas de estudio mediante la técnica "smooth inversión". Como resultado, y a partir de los datos de resistividad aparente registrados en campo, se obtuvieron dos secciones de resistividad real relativamente distintas para cada línea de estudio. La diferencia entre ambas inversiones radicó en el modelo de resistividad real inicial definido para el proceso iterativo de inversión. En un



Figura 4.37: Emplazamiento de las secciones de resistividad de tomografía eléctrica sobre el césped del nuevo Estadio Carlos Tartiere.

caso se utilizó la propia pseudosección de resistividad aparente registrada en campo y en otro un perfil de resistividad homogénea. Como se verá a continuación la comparación de ambos resultados permitió entender mejor las condiciones del terreno así como valorar la incertidumbre de las interpretaciones de las secciones geofísicas. A continuación se muestran las interpretaciones de las secciones de resistividad. La información más relevante del proceso de inversión en cada caso se muestra en el Anexo I.

- *Líneas 1, 2 y 3:*

Como se puede observar en las figuras 4.38, 4.39 y 4.40 los mejores ajustes para estas tres líneas de estudio se obtuvieron mediante la definición de la pseudosección de resistividad aparente como modelo inicial a la inversión. En estos casos se obtuvieron errores cuadráticos medios de entre el 4,16% al 5,93%, mientras que en el otro tipo de inversión se alcanzaron errores de casi el doble, entre 7,03% 9,93%. En principio este hecho apunta a que los modelos con menor error serían los más fiables por alcanzar una solución más ajustada a los datos observados en campo. Sin embargo los modelos de mayor error presentan características interesantes. Por ejemplo, parecen reproducir con mayor fiabilidad el espesor de la capa más superficial del terreno, aquella que como se verá a continuación se asocia a materiales de origen antrópico. Por otra parte la comparación entre las interpretaciones de los dos modelos podría ser útil a la hora de valorar el grado de incertidumbre de las mismas.

En ambos casos se han diferenciado tres unidades. Una superficial de mayor resistividad correspondiente a las arenas y gravas instaladas en el campo de fútbol como drenaje. Inmediatamente por debajo se situaría las arenas de la Fm. La Argañosa. Los bajos valores de resistividad de esta unidad sugieren un notable contenido en humedad de la unidad clástica, lo que pondría de relieve su acción como acuífero. Dicho acuífero probablemente sea la fuente que alimenta las surgencias y humedades del terreno descritas en el apartado 4.2 de este documento.

Por último se encuentra en profundidad una última capa con resistividades generalizadamente superiores a las arenas de la Fm. La Argañosa, correspondiente a las litologías carbonatadas de la unidad San Lázaro. En cada línea, según los dos tipos de modelos interpretados, el límite entre ambas formaciones se situaría sobre los 6,5 a 10 m de profundidad.

- Líneas 4 y 5:

En los modelos de las líneas 4 y 5 se han obtenido resultados similares a los descritos anteriormente (Fig. 4.41 y 4.42), sin embargo la fiabilidad de la información reflejada en ambos es significativamente inferior. Esta incertidumbre queda reflejada en primer lugar en los elevados errores cuadráticos medios de los modelos, comprendidos entre el 10,61% y el 12,22%. Por otra parte cabe destacar que la cobertura de los modelos es bastante reducida, debido a que se prescindió de un notable número de puntos de registro debido a su falta de calidad de la señal eléctrica, o bien al alto grado de desajuste en la etapa de inversión. Este hecho ha propiciado una reducida cobertura en las partes más profundas del modelo, cerca del límite entre las formaciones La Argañosa y San Lázaro, por lo que la posición del mismo debe considerarse de escasa representatividad (ver la información referente a la inversión de las líneas 4 y 5 en el Anexo I). Posiblemente la mala calidad de los ensayos en las líneas 4 y 5 se deba a que de los drenajes y canalizaciones del terreno de juego hayan influido negativamente en las medidas eléctricas como consecuencia del reducido espaciado definido para los electrodos de medida.

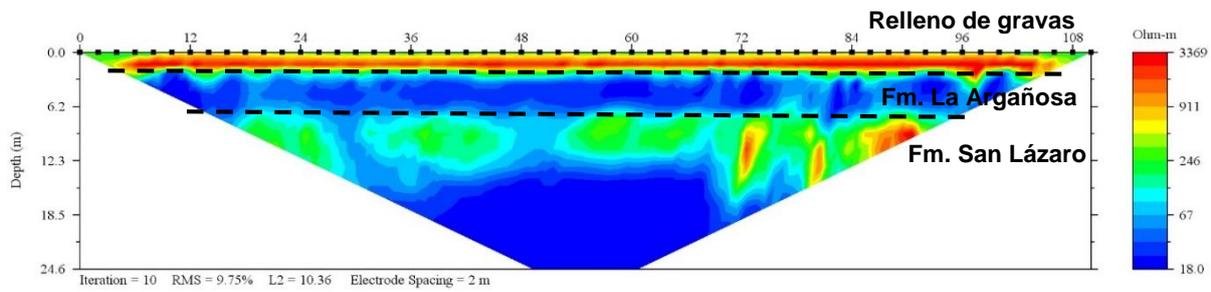
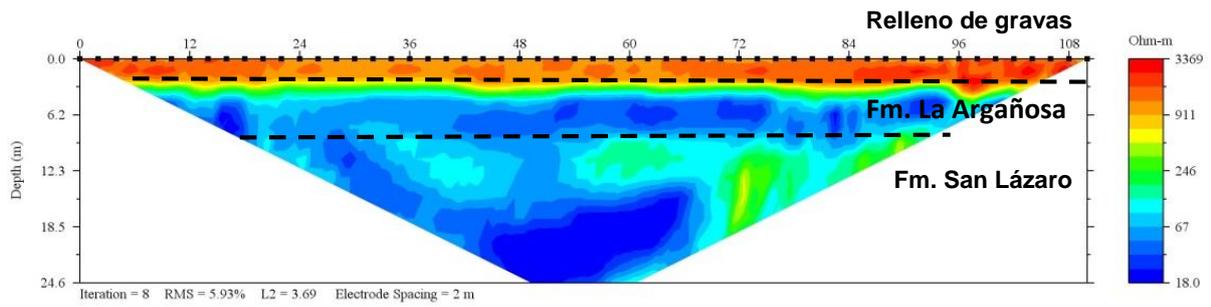


Figura 4.38: Interpretación de los modelos de resistividad real obtenidos a partir de la inversión de datos de la línea 1 partiendo de un modelo inicial constituido por la pseudosección de resistividad aparente registrada en campo (a) y de un modelo inicial con una resistividad homogénea (b).

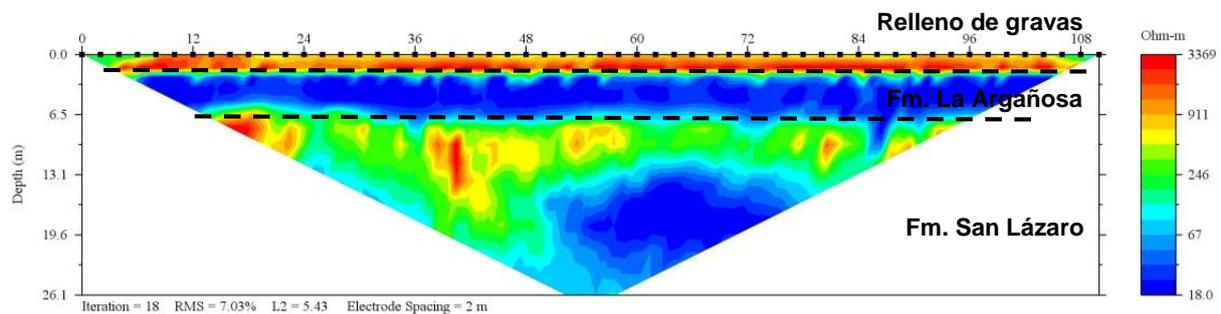
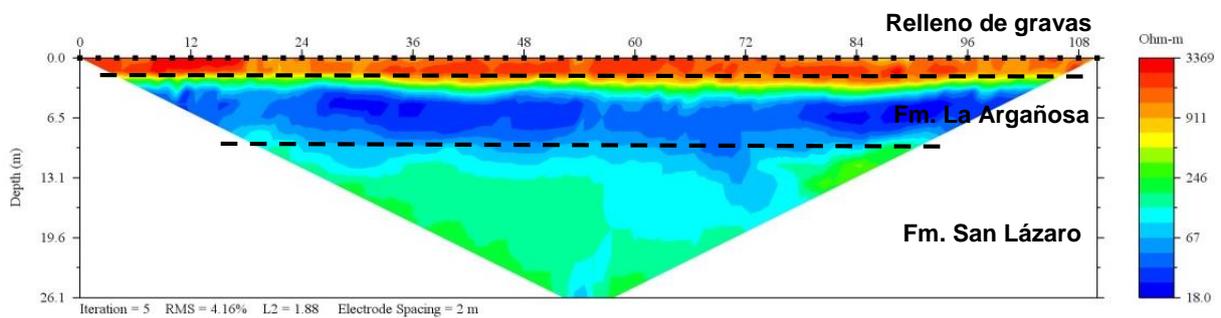


Figura 4.39: Interpretación de los modelos de resistividad real obtenidos a partir de la inversión de datos de la línea 2 partiendo de un modelo inicial constituido por la pseudosección de resistividad aparente registrada en campo (a) y de un modelo inicial con una resistividad homogénea (b).

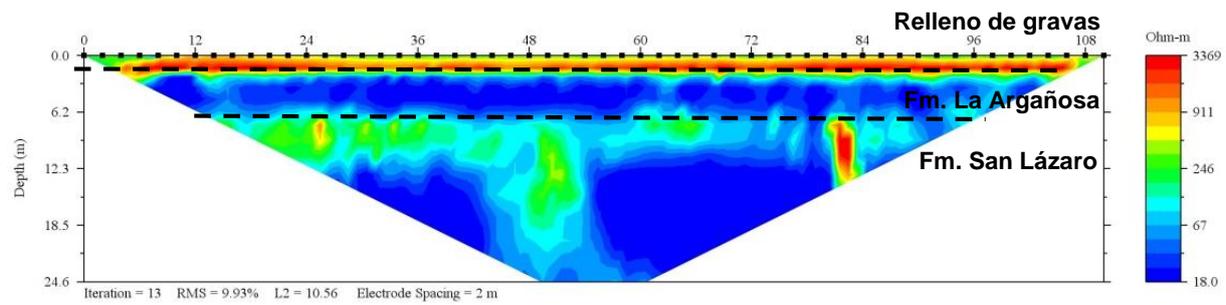
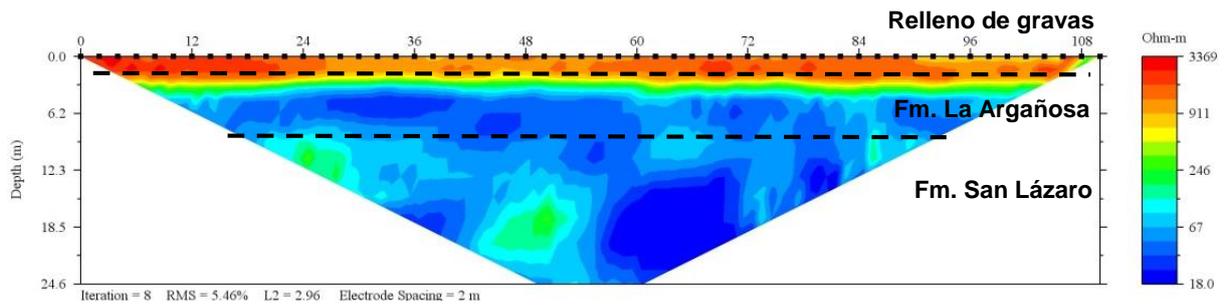


Figura 4.40: Interpretación de los modelos de resistividad real obtenidos a partir de la inversión de datos de la línea 3 partiendo de un modelo inicial constituido por la pseudosección de resistividad aparente registrada en campo (a) y de un modelo inicial con una resistividad homogénea (b).

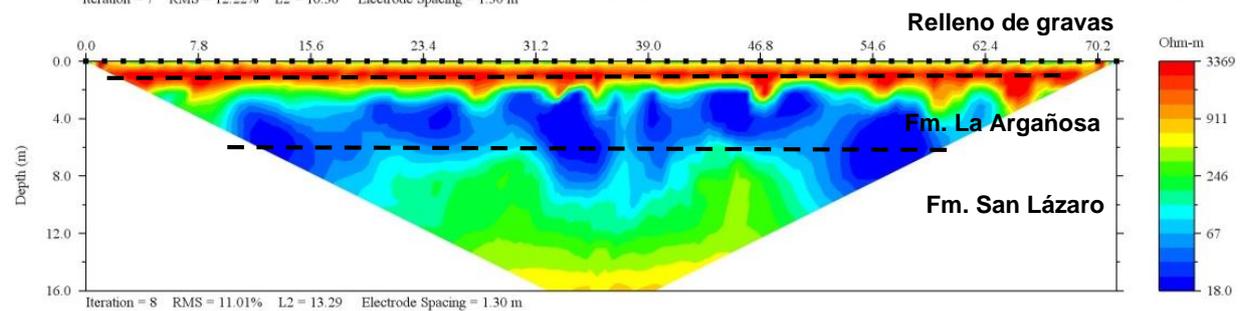
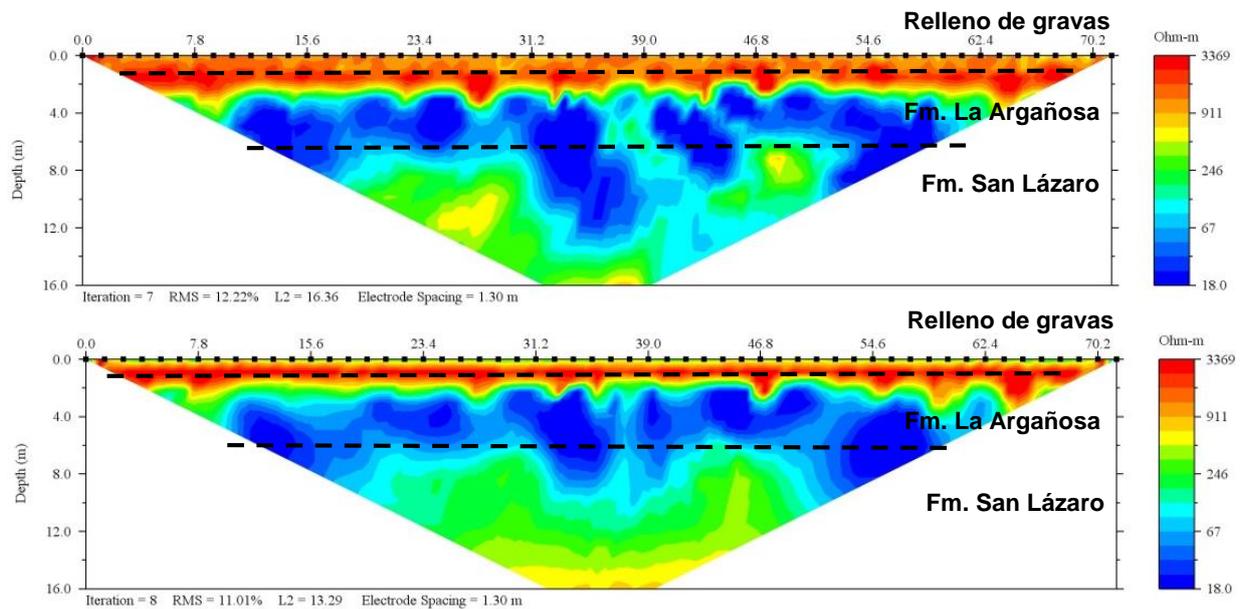


Figura 4.41: Interpretación de los modelos de resistividad real obtenidos a partir de la inversión de datos de la línea 4 partiendo de un modelo inicial constituido por la pseudosección de resistividad aparente registrada en campo (a) y de un modelo inicial con una resistividad homogénea (b).

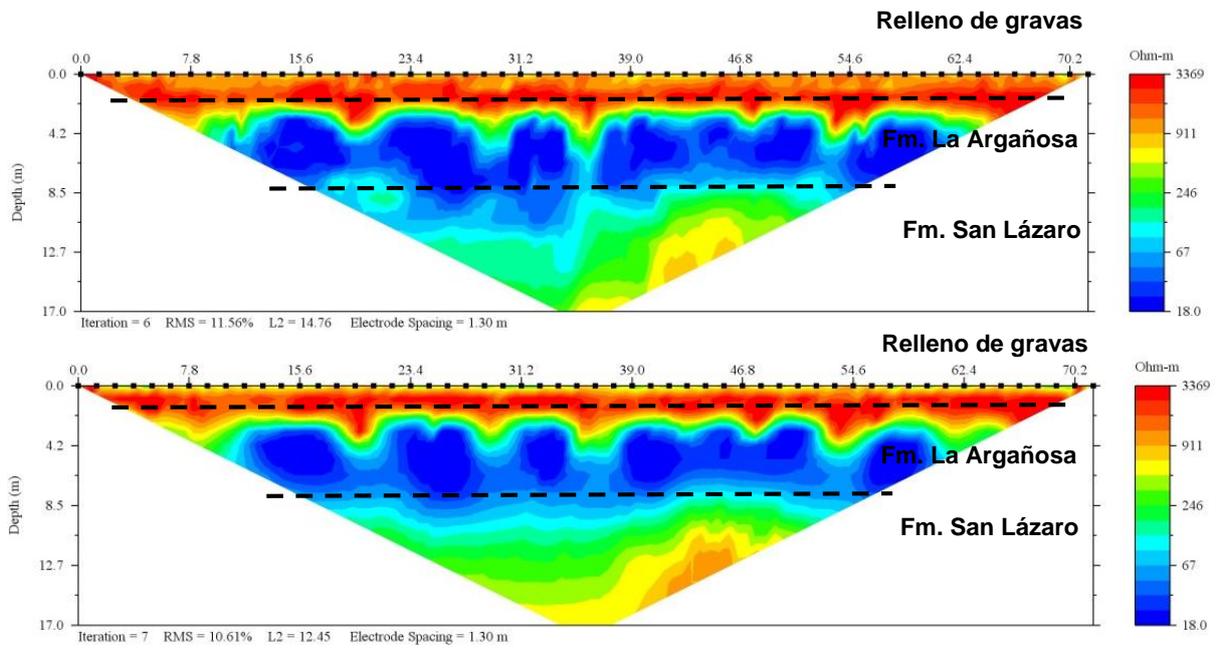


Figura 4.41: Interpretación de los modelos de resistividad real obtenidos a partir de la inversión de datos de la línea 1 partiendo de un modelo inicial constituido por la pseudosección de resistividad aparente registrada en campo (a) y de un modelo inicial con una resistividad homogénea (b).

5. Conclusiones:

En cuanto a la geología:

- La zona de estudio está condicionada por las características geológicas y estructurales de las formaciones Fm. San Lázaro, La Argañosa y Oviedo en el ámbito de la Cuenca de Oviedo, en el sector occidental de la Depresión Mesoterciaria Central de Asturias.
- La Fm. La Argañosa es la unidad que más “problemática” de tipo geotécnico e hidrogeológico genera, como consecuencia de sus características granulométricas, estructura y porosidad/permeabilidad.

En cuanto a los trabajos realizados con GIS:

- La antropización, explotación y aprovechamiento del territorio por el ser humano cambia las morfologías y características geológicas de los entornos, por lo que la identificación y observación de las mismas en ámbitos urbanos se hace, en ocasiones, una tarea muy difícil.
- La metodología empleada -realizar estudios comparativos a partir de topografías de distintas épocas- para estudiar la removilización de tierras en el ámbito de estudio es de gran utilidad, permitiendo registrar ese cambio en la morfología de manera rápida y muy visual.
- Además, permite determinar qué zonas están en contacto directo con el sustrato geológico y qué zonas están actualmente ocupadas por materiales removilizados y rellenos modernos. Asimismo, detectó un desfase de 3 m en la cota final del césped, proyectada a una cota de 230 m y ejecutada a 227 m.

En cuanto a la metodología geofísica:

- La tomografía eléctrica ha demostrado ser una técnica ideal, rápida y no invasiva, para determinar las características geológicas e hidrogeológicas del terreno sobre el que se asienta el nuevo Estadio Carlos Tartiere.
- Las secciones de resistividad han permitido diferenciar tres unidades geológicas: los propios materiales instalados como drenaje en el campo de juego, las arenas de la Fm. La Argañosa y el límite de estas con la Fm. carbonatada San Lázaro.
- Los estudios geofísicos han aportado información sobre el régimen hidrogeológico del terreno. Las bajas resistividades registradas en la Fm. La Argañosa indican un contenido en humedad elevado tratándose, por tanto, de una formación acuífero que debe de alimentar las humedades descritas en el área de estudio.

- Los perfiles longitudinales han aportado secciones con menos errores y unidades bien reconocibles, mientras que los transversales aportaron una información más limitada debido probablemente a la influencia negativa de las conducciones enterradas bajo el campo de fútbol.
- Se detectan dos unidades geológicas (Fm. La Argañosa y Fm. Oviedo) y un relleno superficial de gravas muy resistivo que genera un “área de influencia” en la sección de resistividades más potente de lo que en realidad corresponde a las gravas (unos 3 m en las secciones frente a unos 0,9 m de rellenos reales)
- El contacto de la Fm. La Argañosa con la Fm. San Lázaro no aparece como una superficie rectilínea en las secciones de resistividad. Esto puede deberse a la existencia de karstificaciones en el límite entre ambas formaciones.

En cuanto al emplazamiento del estadio municipal:

- El solar sobre el que está instalado el Estadio Municipal Carlos Tartiere no reúne las características más idóneas para un equipamiento de este estilo desde el punto de vista geológico debido a las propiedades geotécnicas e hidrogeológicas del subsuelo sobre el que está cimentado, en la Fm. La Argañosa.
- Existen evidencias de la existencia de un aporte lateral de agua al terreno de juego bajo el talud situado en la parte sur del área de estudio.
- De la misma manera, en la misma zona se han descrito asientos diferenciales en la grada sur.

Posibles líneas de investigación y actuación en el futuro:

- Sería interesante establecer una red de pozos de control en el área de estudio para determinar la altura piezométrica en las arenas y gravas de la Fm. La Argañosa y entender la respuesta del sistema en momentos de intensa pluviosidad.
- Se podría evaluar la posibilidad de excavar una trinchera de drenaje en el fondo sur del estadio, como manera de tratar de evitar la entrada lateral de agua que pudiese estar afectando negativamente en la calidad del terreno de juego.

6. Bibliografía:

- Alonso, J.L., Pulgar, J., García-Ramos, J.C. and Barba, P. (1995): Tertiary basins and Alpine tectonics in the Cantabrian mountains (NW Spain). *Tertiary Basins of Spain. Tectonics, climate and sea-level changes*. Cambridge University Press, 214-227.
- Bastida, F. (2004) Zona Cantábrica. *Geología de España*. Sociedad geológica de España y Instituto geológico y minero de España.
- Bernárdez Rodríguez, E. (1994): Unidades litoestratigráficas del Cretácico de la Depresión Central Asturiana. *Cuadernos Geol. Ibérica*, 18(2): 11-25.
- Bernárdez Rodríguez, E., Gallemí, J., López, G., Martínez, R., Muñoz, J., Pons, J.M. y Santamaría, R. (1993): Macrofauna de invertebrados del Cretácico superior de la Depresión Central Asturiana. *Treb. Mus. Geol. Barcelona*, 3: 41-60.
- Burger, H.R. (1992): *Exploration geophysics of the shallow subsurface*. Prentice-Hall, Inc.
- DeGroot-Hedlin, C. and Constable, S. (1990): Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data. *Geophysics*, 55, 1613–1624.
- García-Ramos, J.C. y Gutiérrez Claverol, M. (1995): La cobertura Mesozoico-Terciaria. En: *Geología de Asturias*. Coord: Bastida, F. y Aramburu, C. TREA.
- González Fernández, B., Gutiérrez Claverol, M. y Menéndez Casares, E. (2005): Caracterización hidrogeológica de la sucesión cretácica en el sector central de Asturias (Oviedo, NO de España). *Boletín Geológico y Minero*, 116 (3): 231-245.
- González Fernández, B., Menéndez Casares, E., Gutiérrez Claverol, M. y García-Ramos, J.C. (2004): Litoestratigrafía del sector occidental de la cuenca cretácica de Asturias. *Trabajos de Geología, Univ. de Oviedo*, 24: 43-80.
- Gutiérrez Claverol, M. y Torres Alonso, M. (1995): *Geología de Oviedo. Aspectos aplicados*. Ediciones Paraíso.
- Gutiérrez Claverol, M. y Vargas Alonso, I. (1969): Contribución al conocimiento litoestratigráfico del Cretácico de la zona central de la región asturiana. *Acta Geol. Hisp.*, 4 (5): 131-134.
- Gutiérrez Claverol, M., Pando, L. y González, B. (2004): Problemática de las calizas del Cretácico Superior en las cimentaciones de Oviedo. *Geogaceta*, 36: 99-102.
- Julivert, M. y Truyols, J. (1972): La coupe du Cabo Peñas, une coupe de référence pour l'Ordovicien du Nord-Ouest de l'Espagne. *C. R. somm. Soc. Géol. France*, 6: 241-243.

Knight, R. and Endres, A.L. (2005): An introduction to rock physics for near-surface applications. *Near-Surface Geophysics*, 1: 31-70.

Lotze, F. (1945): Zur gliederung der varisziden der Iberischen Meseta. *Geotek. Forsch.*, 6: 78-92.

Ministerio de Fomento, (2002). (NCSE-02 apartado 2.2, BOE de 11 de octubre de 2002).

Olima, O. (1994): Estratigrafía y sedimentología de las series cretácicas entre Oviedo y Pola de Siero (Asturias). *Trabajo de Investigación, Dpto. Geol., Univ. Oviedo* (inédito).

Olona, J. (2014): Integración de metodologías geofísicas para la caracterización geológico-geotécnica del terreno. *Tesis Doctoral (inédita), Univ. Oviedo*.

Orellana, E. (1982): *Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua*. Biblioteca Técnica Philips.

Pando, L., Gutiérrez Claverol, M. y Flor-Blanco, G. (2012): Propiedades geotécnicas de la Formación La Argañosa (Cretácico Superior, Oviedo). *Boletín Geológico y Minero*, 123 (1): 65-75.

Pando, L., Luque Cabal, C. y Gutiérrez Claverol, M. (2011): La cantera de Lavapiés (Cretácico Superior) y su aportación al acervo arquitectónico de Oviedo. *Trabajos de Geología, Univ. de Oviedo*, 31: 60-76.

Parasnis, D.S. (1971): Principles of Applied Geophysics. Chapman and Hall.

Pendás Fernández, F. y González Fernández, B. (2003). El sistema hidrogeológico de Oviedo: incidencia en problemas de cimentación urbana. *Boletín Geológico y Minero*, 114 (1): 121-132.

Pulgar, J.A., Gutiérrez Claverol, M., Torres Alonso, M. y Gallastegui, J. (2000): *Estudio geológico-geotécnico de la Unidad de Gestión La Ería II-A (Oviedo)*. Informe inédito.

Torres Alonso, M. (1971): Estudio geotécnico general de la zona central de Asturias. *Tesis Doctoral (inédita), Univ. Oviedo*.

Truyols Santonja, J. y García-Ramos, J.C. (1991): El Terciario de la cuenca de Oviedo y el yacimiento de vertebrados de Llamaquique. *Boletín de Ciencias de la Naturaleza, RIDEA*, 41: 77-99.

7. Anexos:

ANEXO 1

Resultados de la inversión de datos de tomografía eléctrica

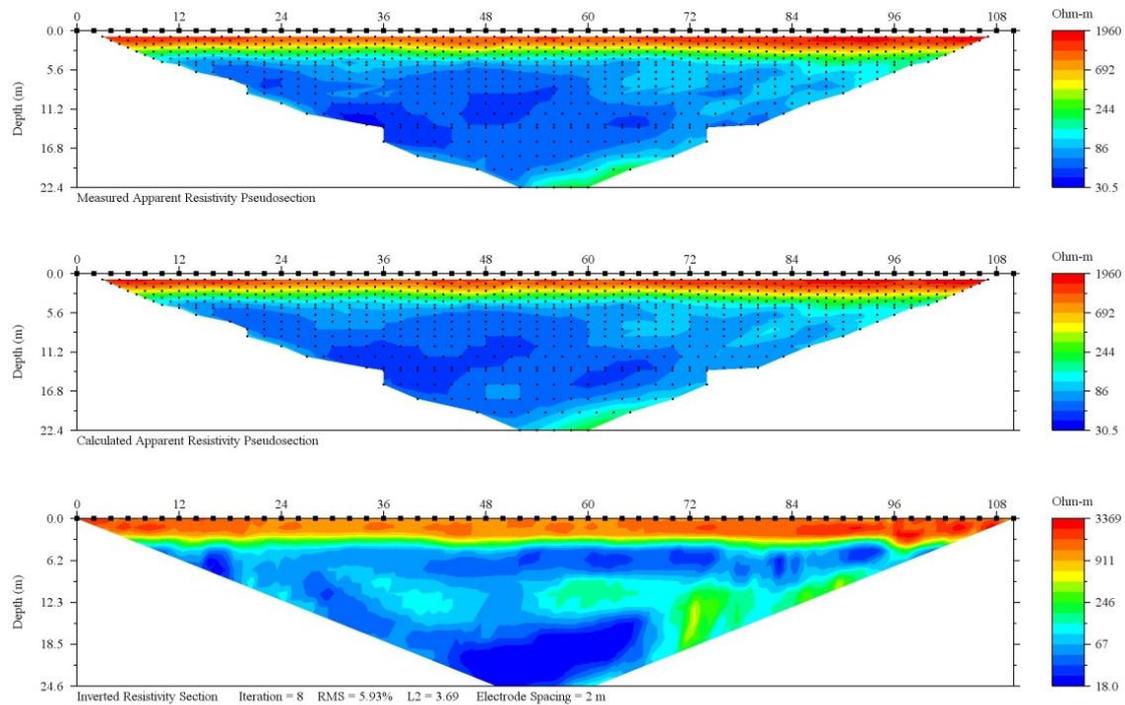


Figura 7.1.1: Información obtenida para la línea de estudio 1 mediante la inversión de datos tomando como modelo inicial al proceso la pseudosección de resistividad aparente medida en campo: de resistividad aparente registrada en campo (a), pseudosección de resistividad aparente calculada en el proceso de inversión (b) y modelo de resistividad real del terreno (c). En todas las imágenes se representa mediante cuadros negros en superficie la posición de los electrodos de medida, los puntos negros distribuidos en las imágenes a y b representan las posiciones de las mediciones de resistividad.

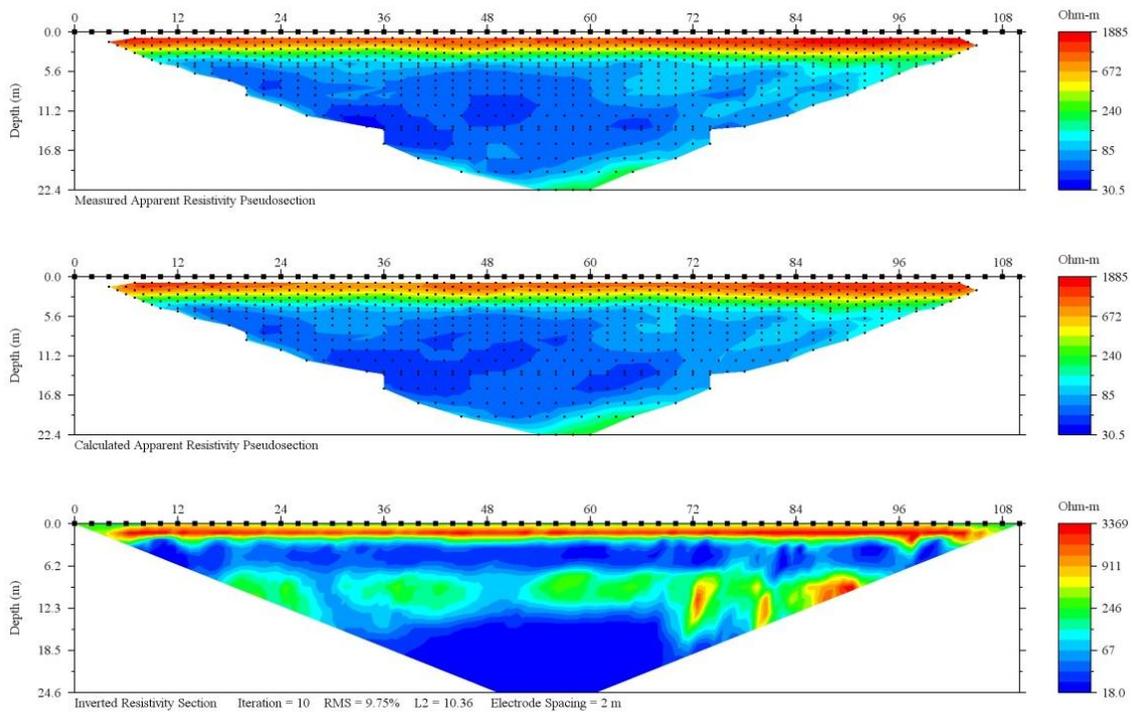


Figura 7.1.2: Información obtenida para la línea de estudio 1 mediante la inversión de datos tomando como modelo inicial al proceso un perfil de resistividad aparente homogéneo: de resistividad aparente registrada en campo (a), pseudosección de resistividad aparente calculada en el proceso de inversión (b) y modelo de resistividad real del terreno (c). En todas las imágenes se representa mediante cuadros negros en superficie la posición de los electrodos de medida, los puntos negros distribuidos en las imágenes a y b representan las posiciones de las mediciones de resistividad.

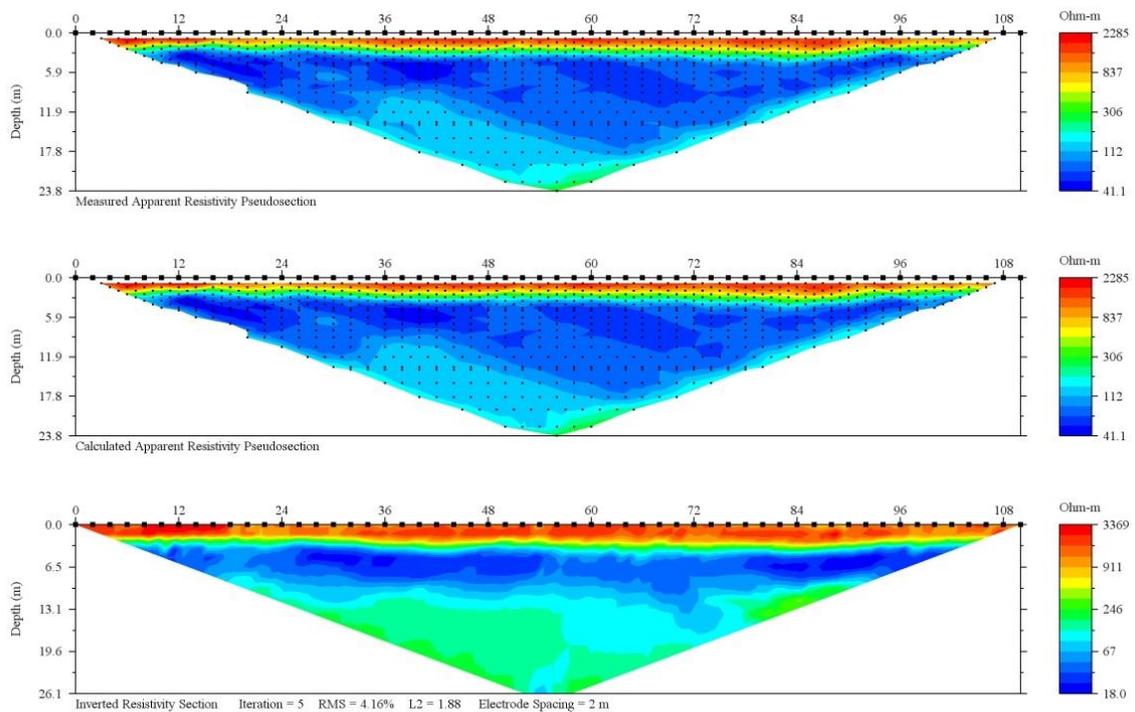


Figura 7.1.3: Información obtenida para la línea de estudio 2 mediante la inversión de datos tomando como modelo inicial al proceso la pseudosección de resistividad aparente medida en campo: de resistividad aparente registrada en campo (a), pseudosección de resistividad aparente calculada en el proceso de inversión (b) y modelo de resistividad real del terreno (c). En todas las imágenes se representa mediante cuadros negros en superficie la posición de los electrodos de medida, los puntos negros distribuidos en las imágenes a y b representan las posiciones de las mediciones de resistividad.

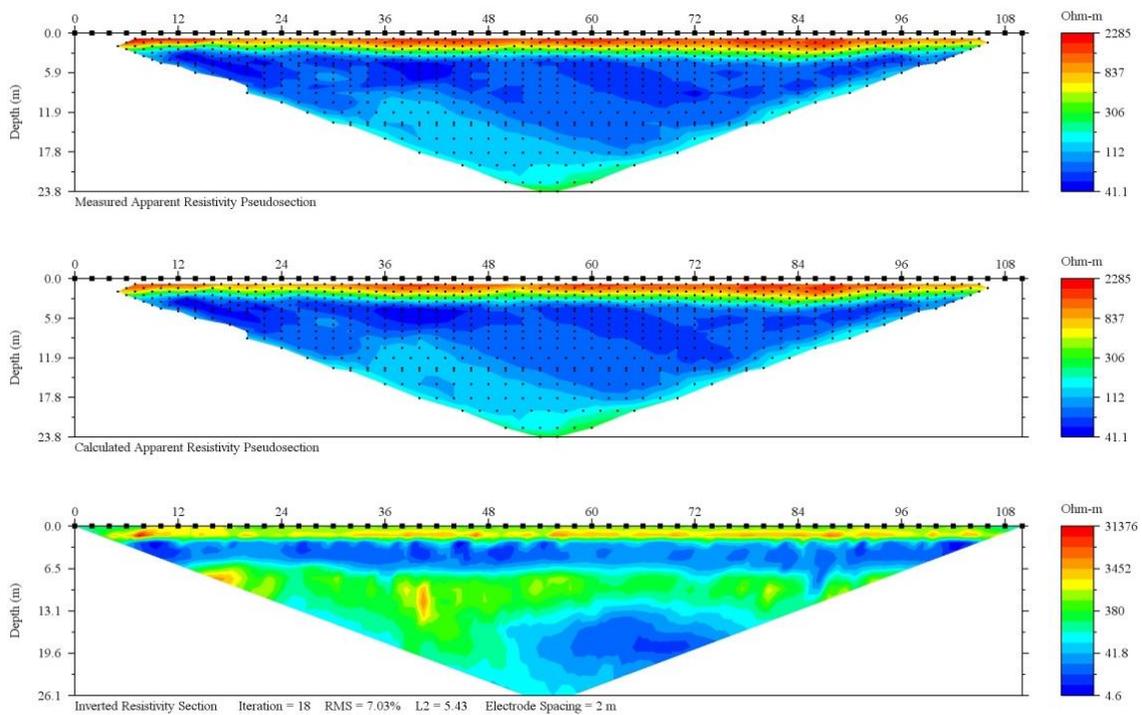


Figura 7.1.4: Información obtenida para la línea de estudio 2 mediante la inversión de datos tomando como modelo inicial al proceso un perfil de resistividad aparente homogéneo: de resistividad aparente registrada en campo (a), pseudosección de resistividad aparente calculada en el proceso de inversión (b) y modelo de resistividad real del terreno (c). En todas las imágenes se representa mediante cuadros negros en superficie la posición de los electrodos de medida, los puntos negros distribuidos en las imágenes a y b representan las posiciones de las mediciones de resistividad.

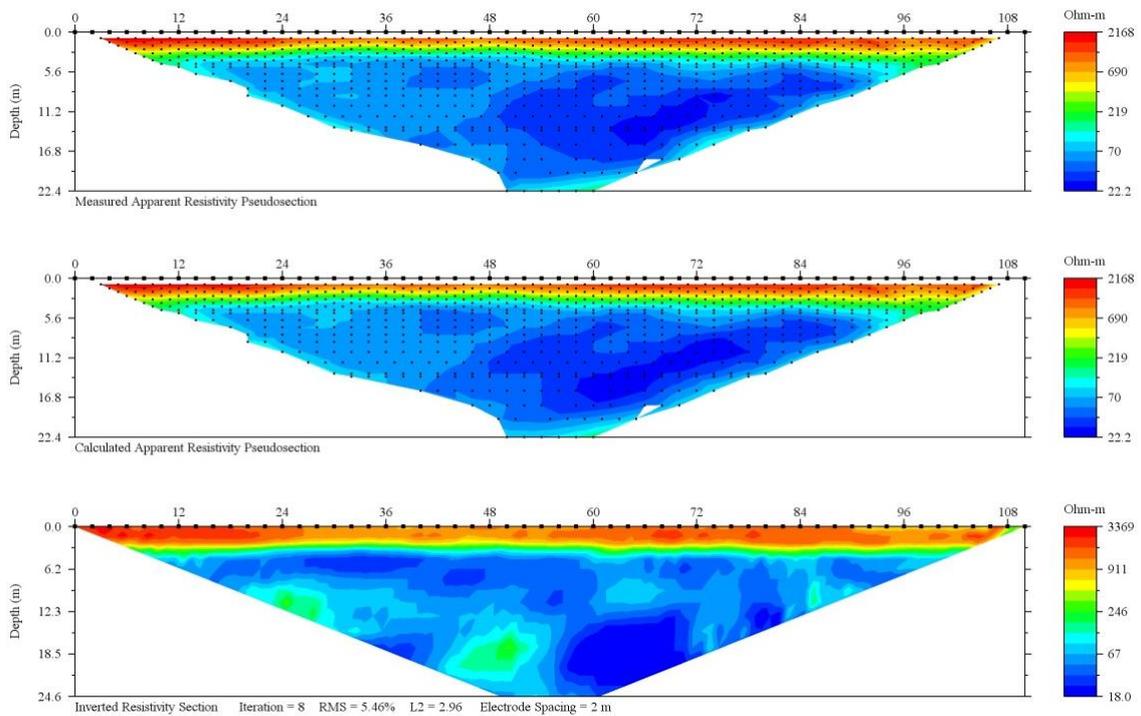


Figura 7.1.5: Información obtenida para la línea de estudio 3 mediante la inversión de datos tomando como modelo inicial al proceso la pseudosección de resistividad aparente medida en campo: de resistividad aparente registrada en campo (a), pseudosección de resistividad aparente calculada en el proceso de inversión (b) y modelo de resistividad real del terreno (c). En todas las imágenes se representa mediante cuadros negros en superficie la posición de los electrodos de medida, los puntos negros distribuidos en las imágenes a y b representan las posiciones de las mediciones de resistividad.

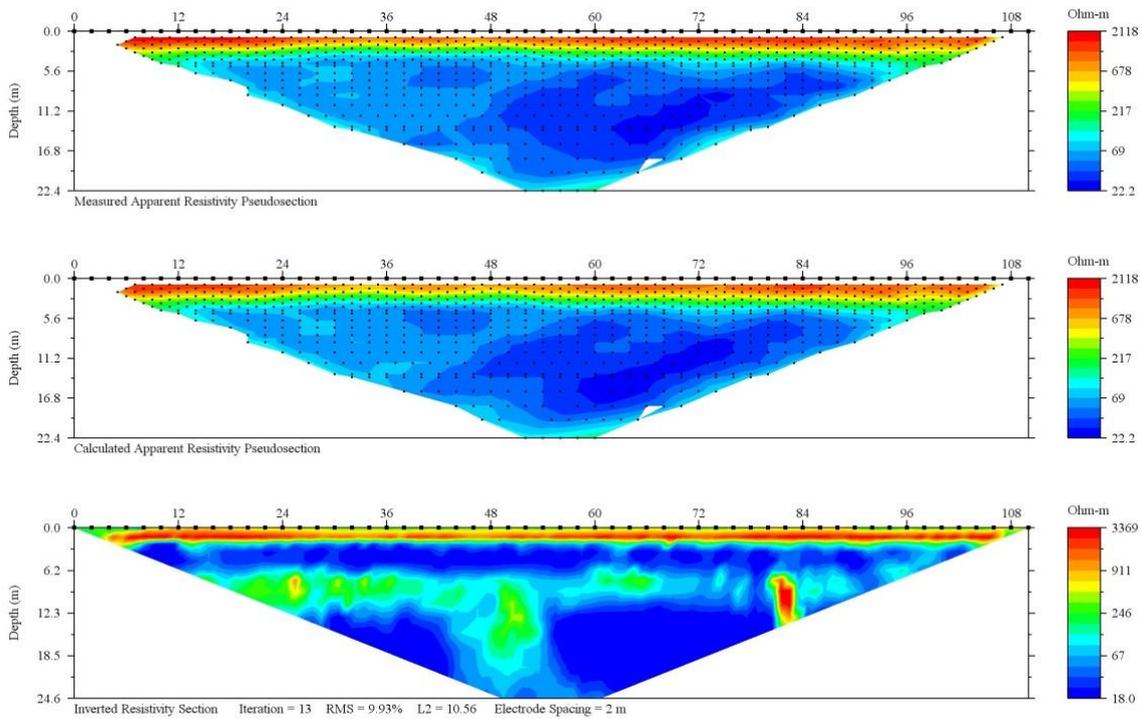


Figura 7.1.6: Información obtenida para la línea de estudio 3 mediante la inversión de datos tomando como modelo inicial al proceso un perfil de resistividad aparente homogéneo: de resistividad aparente registrada en campo (a), pseudosección de resistividad aparente calculada en el proceso de inversión (b) y modelo de resistividad real del terreno (c). En todas las imágenes se representa mediante cuadros negros en superficie la posición de los electrodos de medida, los puntos negros distribuidos en las imágenes a y b representan las posiciones de las mediciones de resistividad.

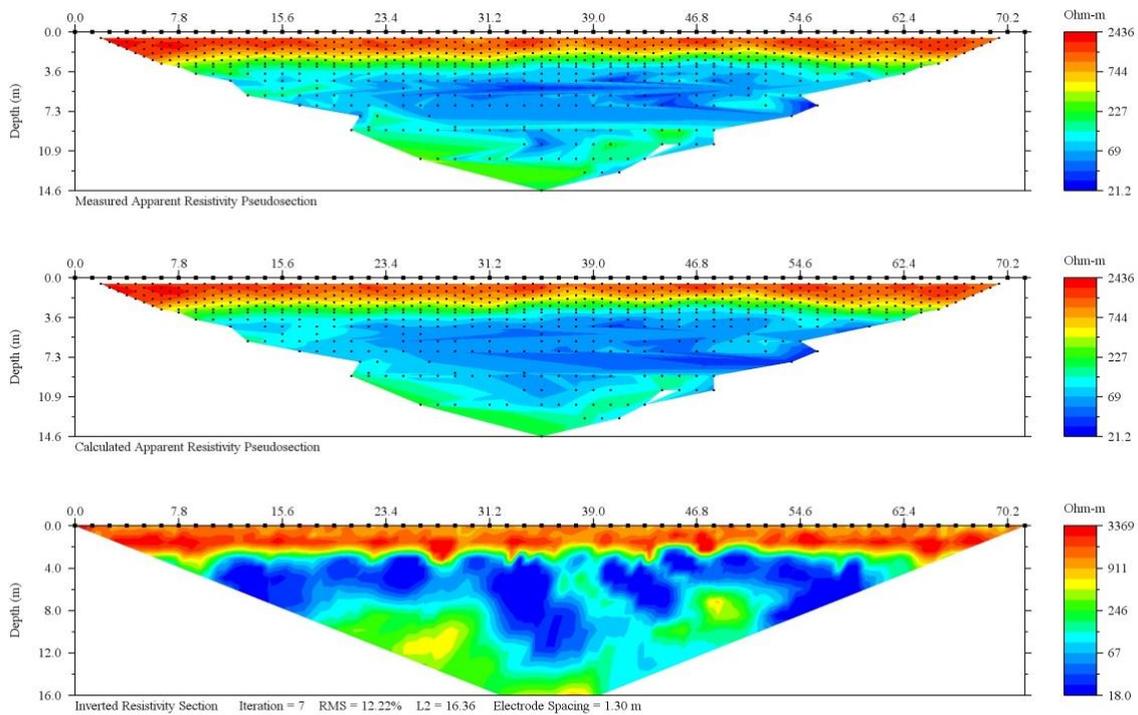


Figura 7.1.7: Información obtenida para la línea de estudio 4 mediante la inversión de datos tomando como modelo inicial al proceso la pseudosección de resistividad aparente medida en campo: de resistividad aparente registrada en campo (a), pseudosección de resistividad aparente calculada en el proceso de inversión (b) y modelo de resistividad real del terreno (c). En todas las imágenes se representa mediante cuadros negros en superficie la posición de los electrodos de medida, los puntos negros distribuidos en las imágenes a y b representan las posiciones de las mediciones de resistividad. Como se observa en las imágenes (a) y (b) hay bastantes zonas del modelo que no tienen cobertura debido a la necesidad de borrado de datos de baja calidad.

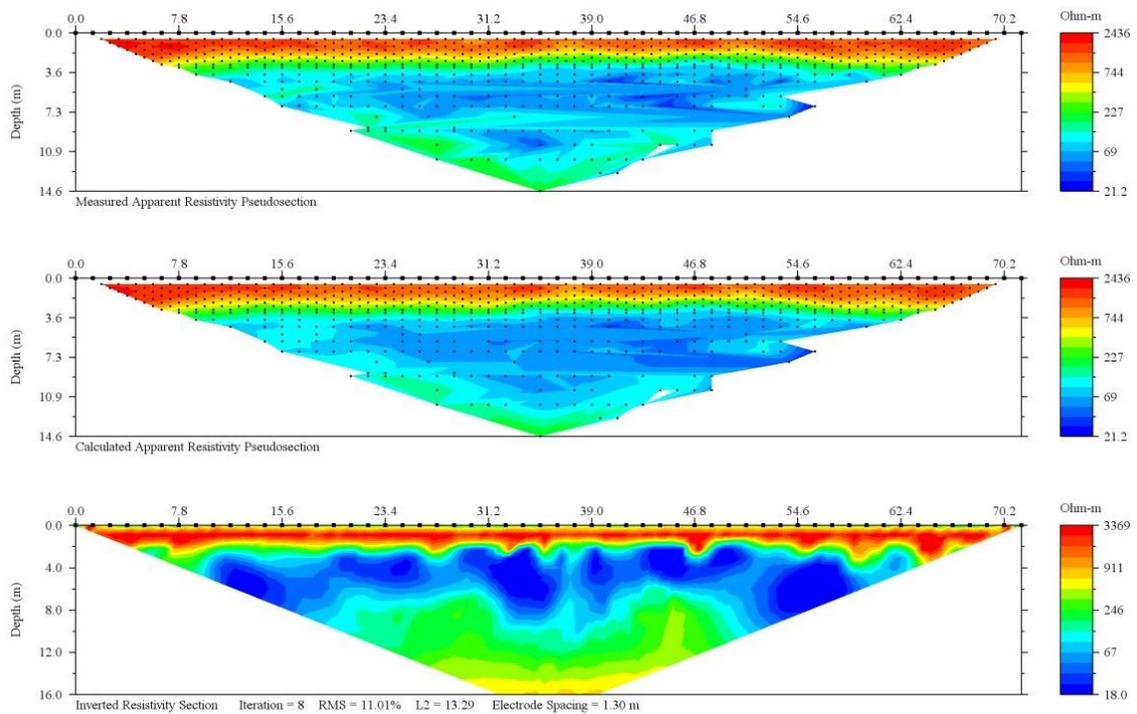


Figura 7.1.8: Información obtenida para la línea de estudio 4 mediante la inversión de datos tomando como modelo inicial al proceso un perfil de resistividad aparente homogéneo: de resistividad aparente registrada en campo (a), pseudosección de resistividad aparente calculada en el proceso de inversión (b) y modelo de resistividad real del terreno (c). En todas las imágenes se representa mediante cuadros negros en superficie la posición de los electrodos de medida, los puntos negros distribuidos en las imágenes a y b representan las posiciones de las mediciones de resistividad. Como se observa en las imágenes (a) y (b) hay bastantes zonas del modelo que no tienen cobertura debido a la necesidad de borrado de datos de baja calidad.

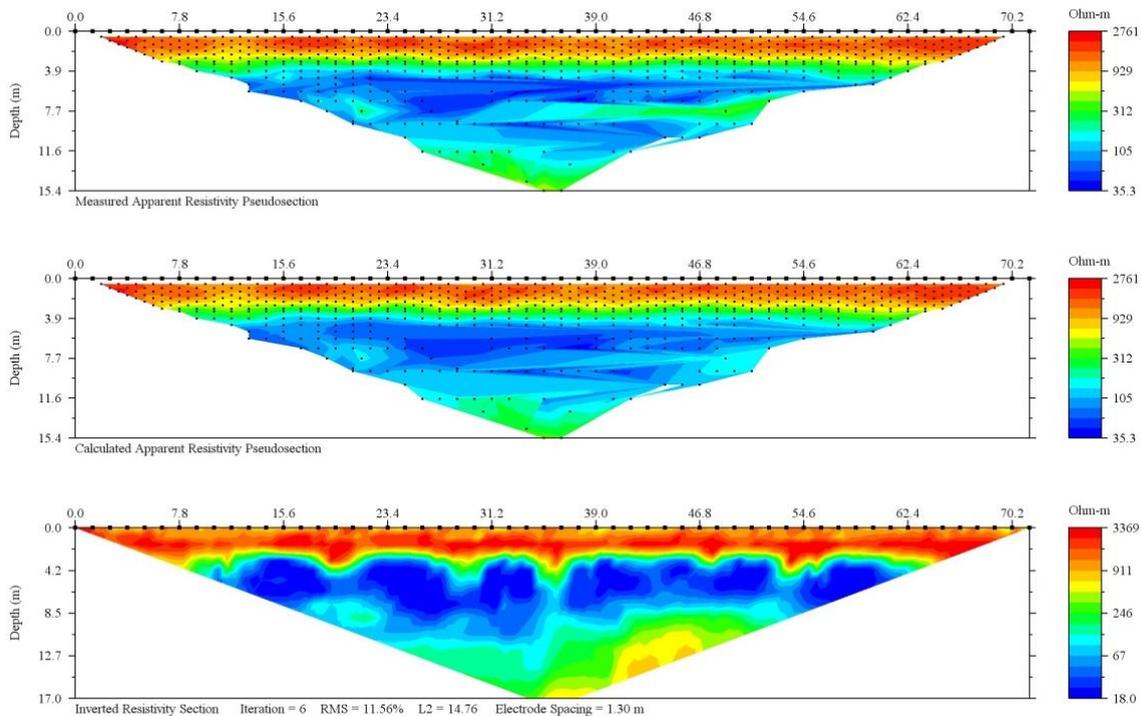


Figura 7.1.9: Información obtenida para la línea de estudio 5 mediante la inversión de datos tomando como modelo inicial al proceso la pseudosección de resistividad aparente medida en campo: de resistividad aparente registrada en campo (a), pseudosección de resistividad aparente calculada en el proceso de inversión (b) y modelo de resistividad real del terreno (c). En todas las imágenes se representa mediante cuadros negros en superficie la posición de los electrodos de medida, los puntos negros distribuidos en las imágenes a y b representan las posiciones de las mediciones de resistividad. Como se observa en las imágenes (a) y (b) hay bastantes zonas del modelo que no tienen cobertura debido a la necesidad de borrado de datos de baja calidad.

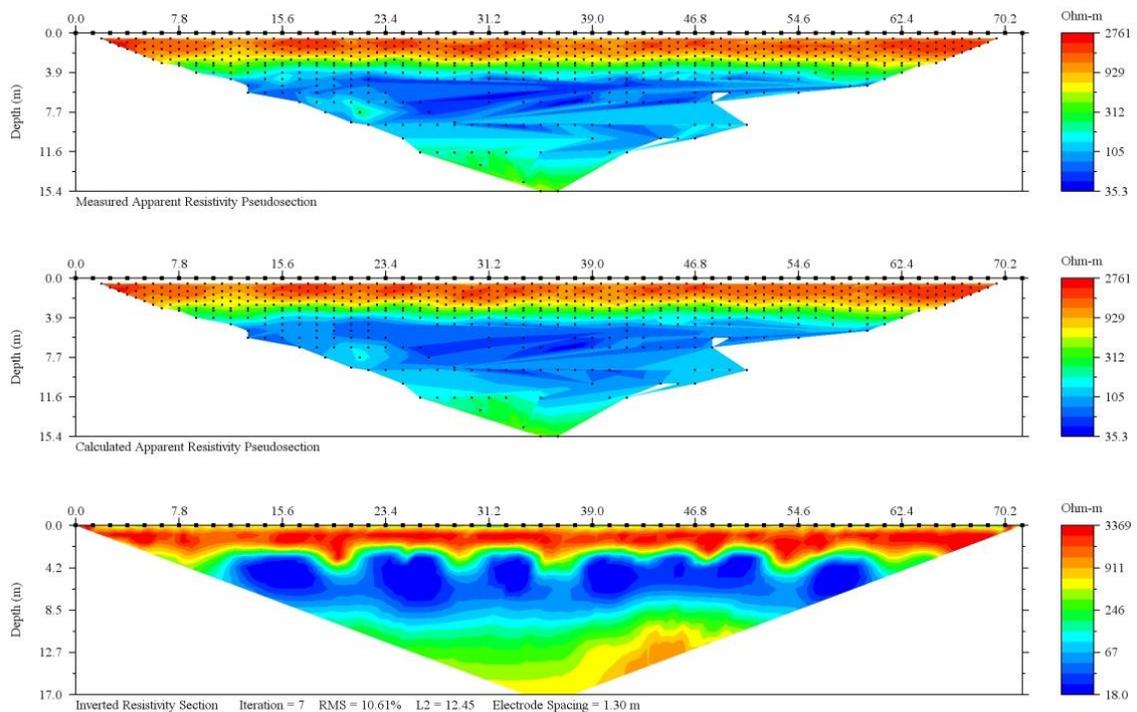


Figura 7.1.10: Información obtenida para la línea de estudio 5 mediante la inversión de datos tomando como modelo inicial al proceso un perfil de resistividad aparente homogéneo: de resistividad aparente registrada en campo (a), pseudosección de resistividad aparente calculada en el proceso de inversión (b) y modelo de resistividad real del terreno (c). En todas las imágenes se representa mediante cuadros negros en superficie la posición de los electrodos de medida, los puntos negros distribuidos en las imágenes a y b representan las posiciones de las mediciones de resistividad. Como se observa en las imágenes (a) y (b) hay bastantes zonas del modelo que no tienen cobertura debido a la necesidad de borrado de datos de baja calidad.

ANEXO 2

Cortes longitudinales y transversales al área de estudio

Se elaboraron dos cortes geológicos, longitudinal (Fig. 7.2.1) y transversal (Fig. 7.2.2), como consecuencia de las observaciones realizadas y la documentación relativa al Informe Geotécnico para la edificación del nuevo Estadio Carlos Tartiere.

Perfil longitudinal

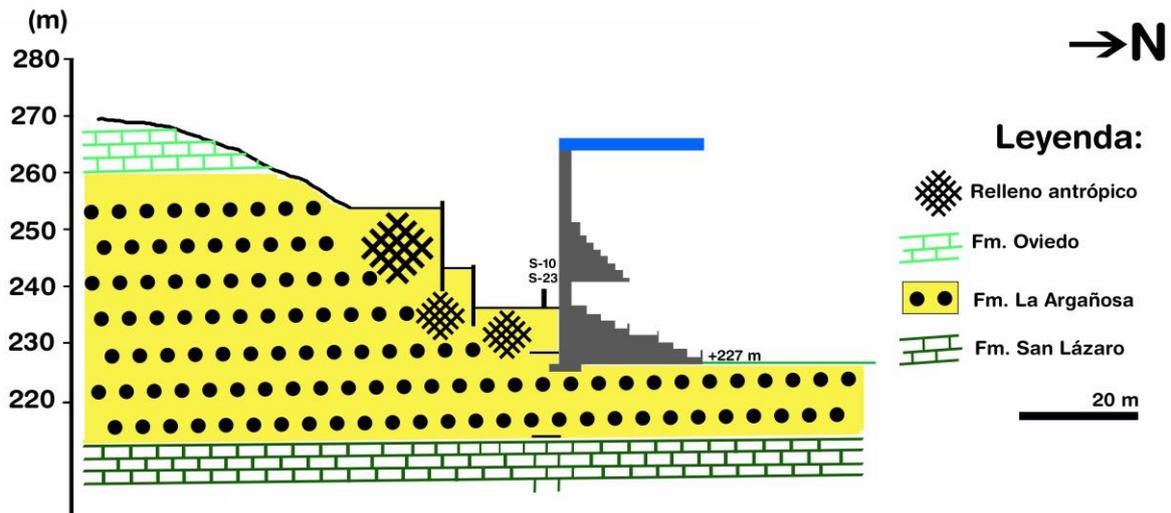


Figura 7.2.1 Perfil longitudinal al talud sur del área de estudio.

En la figura se pueden distinguir muy bien las tres unidades descritas y su disposición en el ámbito del fondo sur del nuevo Estadio Municipal Carlos Tartiere. La Fm. La Argañosa domina prácticamente todo el talud y la cimentación del equipamiento deportivo. Nótese que en estas zonas están cartografiadas humedades, deslizamientos de ladera y surgencias de agua en el apartado 4.2 del presente trabajo, así como un asiento diferencial generado en esta misma grada sur.

El contacto de la Fm. La Argañosa, que tiene unos 40 m de espesor, con la Fm. San Lázaro está hacia los 215 m. según el Sondeo S-23.

Perfil transversal:

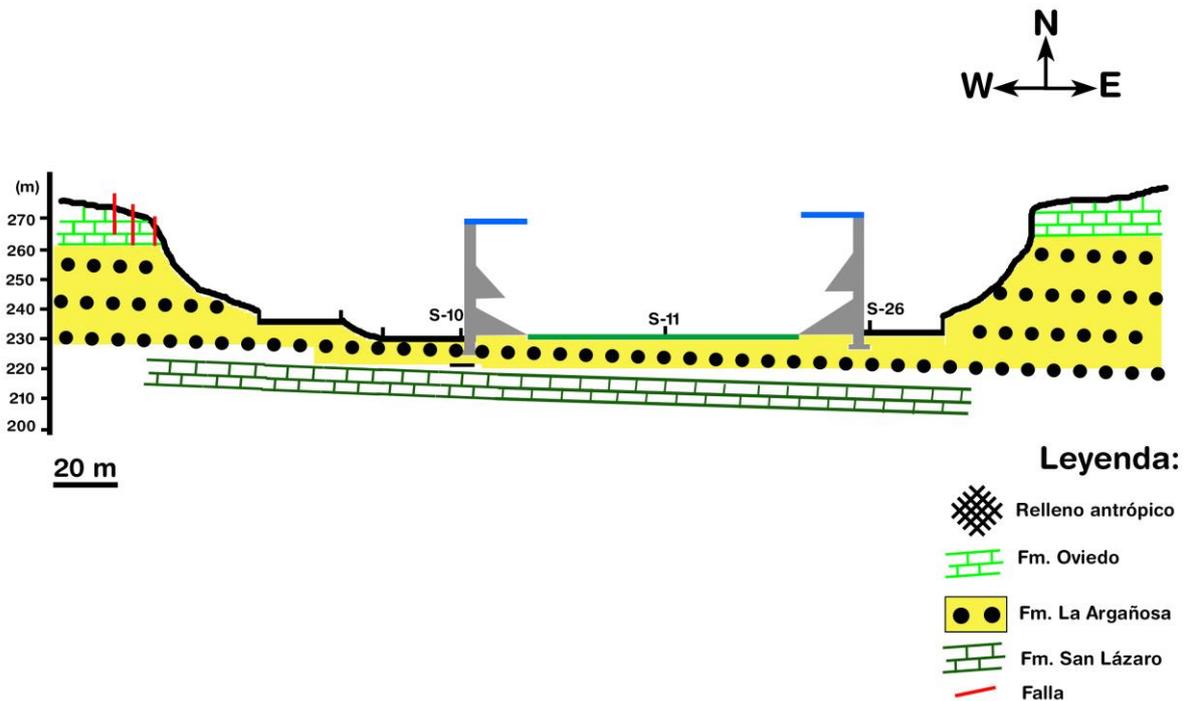


Figura 7.2.1: Perfil transversal al Estadio Municipal Carlos Tartiere.

Para elaborar este perfil se toman como referencia los sondeos S-10, S-11 y S-26 del estudio geotécnico elaborado de manera previa a la construcción del nuevo Estadio Municipal Carlos Tartiere. Solamente alcanzaba la Fm. San Lázaro el sondeo S-10, mientras que, acorde con los registros recabados, los sondeos S-11 y S-26 no atravesaron en ningún caso la formación carbonatada.

Asimismo, se cartografiaban en la zona del talud occidental una serie de fallas normales que generan bloques hundidos formando escalones, afectando a las calizas de la Fm. Oviedo.

Nótese el dominio estratigráfico de la Fm. La Argañosa, descrita como una formación acuífero muy relevante a nivel del municipio de Oviedo/Uviéu, generando numerosas problemáticas geotécnicas.