

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICO- GEOTÉCNICA DEL SUBSUELO URBANO DE NAVIA

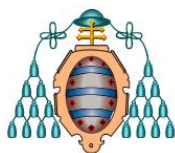


Trabajo Fin de Máster

Adán Lanza García

Julio de 2015

Máster en Recursos Geológicos e Ingeniería Geológica



UNIVERSIDAD DE OVIEDO



ASTURIAS
CAMPUS DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL
|AD FUTUREM|



Máster en Recursos Geológicos e Ingeniería Geológica

Universidad de Oviedo



D. ADÁN LANZA GARCÍA, autor del Trabajo Fin de Máster titulado “CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DEL SUBSUELO URBANO DE NAVIA”, confirma que es un trabajo original y solicita su presentación en el Máster Universitario Recursos Geológicos e Ingeniería Geológica de la Universidad de Oviedo.

En Oviedo, a 6 de Julio de 2015

Fdo. ADÁN LANZA GARCÍA

El Dr. LUIS ALBERTO PANDO GONZÁLEZ, Profesor Ayudante Doctor del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo, confirma que ha tutelado el trabajo “CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DEL SUBSUELO URBANO DE NAVIA”, realizado por D. ADÁN LANZA GARCÍA, y autoriza su presentación y defensa como Trabajo Fin de Máster en el Máster Universitario en Recursos Geológicos e Ingeniería Geológica de la Universidad de Oviedo.

En Oviedo, a 6 de Julio de 2015

Fdo. LUIS ALBERTO PANDO GONZÁLEZ

AGRADECIMIENTOS

Tras el esfuerzo realizado para sacar adelante el presente trabajo, debo agradecer gran parte del éxito que pueda llegar a tener a una serie de personas, entre ellas la más importante el Doctor Luis Alberto Pando González.

Gracias a sus consejos, a su ímpetu en mejorar y perfeccionar los datos y a su capacidad para exprimir aún más cada parte conseguida del trabajo; todo esto me han sido de gran enseñanza para el futuro.

Entre otros profesores de mi ámbito, debo estar también sumamente agradecido a los profesores Germán Flor Rodríguez y Germán Flor Blanco por su indudable ayuda desinteresada.

Muestro también un sincero agradecimiento a los organismos y empresas que me han ayudado en la adquisición de datos, ya que sin estos este trabajo sería irrealizable.

Es también de suma importancia agradecer a algunas de las personas de mi familia y mi entorno, que me han ayudado, facilitado datos e incluso acompañado en trabajos de campo, invirtiendo su preciado tiempo en estos temas ajenos a su persona.

Muchas Gracias.

	Pág
Resumen	1
Abstract	2
I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Generalidades sobre Navia	5
1.2.1. Localización geográfica	5
1.2.2. Relieve e hidrografía	8
1.2.3. Climatología	10
1.2.4. Historia y evolución urbana	11
1.2.5. Demografía	14
1.3. Marco geológico	15
1.3.1. Generalidades	15
1.3.2. Estratigrafía	16
1.3.3. Estructura	18
1.3.4. Hidrogeología	20
1.3.5. Geomorfología	20
1.3.6. Sismicidad	21
1.4. Objetivos	23
II. METODOLOGÍA	25
2.1. Generalidades	25
2.2. Adquisición de datos	26
2.3. Base digital de geodatos	29
2.3.1. Introducción	29
2.3.2. Organización	30
2.3.3. Soporte geográfico	31
2.3.4. Información geológico-geotécnica	33

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
3.1. Unidades del subsuelo	50
3.1.1. Formaciones superficiales	50
<i>Rellenos antrópicos (Q_{RA})</i>	50
<i>Coluviones (Q_{CO})</i>	51
<i>Eluvial (Q_{EL})</i>	52
<i>Depósitos fluviales y marinos (Q_{FM})</i>	53
Sedimentos de ría	53
<i>Terrazas fluviales (Q_{FM-T})</i>	53
<i>Depósitos de la llanura (Q_{FM-LL})</i>	54
Sedimentos de ‘rasa’ (Q _{FM-R})	55
Sedimentos de arroyos (Q _{FM-A})	56
3.1.2. Sustrato rocoso (O _{PL})	57
3.2. Propiedades de los materiales	59
3.2.1. Formaciones superficiales	60
3.2.2. Sustrato rocoso	74
3.3. Valoración geotécnica	84
3.3.1. Condiciones de excavación	84
3.3.2. Condiciones de cimentación	85
3.3.3. Problemáticas específicas	86
3.4. Aportaciones cartográficas	90
3.4.1. Distribución de las unidades	90
IV. CONCLUSIONES	93
V. BIBLIOGRAFÍA	97

APÉNDICE

ANEXO I: Mapa geológico de la villa de Navia (1:5.000).

ANEXO II: Cortes geológicos (E.H. 1:5.000; E.V. 1:1.000).

ANEXO III: Estadillos RMR realizados en trabajos de campo.

Resumen

Este trabajo pretende unificar los conocimientos geológico-geotécnicos del subsuelo de la villa de Navia mediante la creación de una base de datos digital, informatizada, con el fin de disponer, acceder y consultar la misma con extrema facilidad. Esta idea surge a partir de las nuevas tendencias actuales referidas a la creación de métodos de archivado que permitan optimizar la gestión de los datos sobre el terreno. Para realizarla, se dispone de 17 documentos o informes geotécnicos, más de 70 prospecciones directas sobre el terreno y un importante número de prospecciones indirectas y ensayos de laboratorio sobre muestras de la zona, con más de 300 parámetros geotécnicos determinados. El sumatorio de las prospecciones revisadas equivale a casi 1.000 metros de subsuelo prospectado.

Para construir esta base de datos, se llevó a cabo la digitalización de toda la información disponible sobre el subsuelo de la villa, amén de las investigaciones realizadas en trabajos de campo en los alrededores del núcleo urbano, georreferenciando esta información para poder integrarla en un sistema de información geográfica bajo la estructura de una *geodatabase*, formada por archivos geográficos y tablas con información vinculada a los mismos. El SIG se utilizó como herramienta básica para la gestión de la información, ya que simplifica la visualización de la misma y permite el análisis de los parámetros geotécnicos obtenidos y la interpretación de datos espaciales derivados de la información de partida. De esta manera, mediante la interpretación de los datos adquiridos en campo junto con el tratamiento estadístico de los parámetros geotécnicos disponibles, se han conseguido síntesis cualitativas y cuantitativas de las propiedades geotécnicas de todas las unidades del subsuelo naviego. Estas determinaciones son de carácter más simple en algunas unidades y con una componente más profunda en otras, correlacionándose en algunos casos los trabajos de campo con la información disponible del subsuelo.

Las unidades del subsuelo que componen la villa de Navia se corresponden con 7 formaciones superficiales de suelos y una unidad rocosa repartidas en toda el área de estudio, Cada formación se corresponde con una unidad geotécnica determinada, aunque algunas de ellas presentan cierta homogeneidad; estas se disponen sobre la única unidad geotécnica rocosa, correspondiente a la Fm. Pizarras de Luarca, caracterizada por su metamorfismo y su intenso plegamiento regional.

Como resultado final de este proyecto, se obtiene un mapa geológico realizado a escala 1:5.000, de mayor precisión en la distribución de los materiales que los disponibles hasta el momento, además de cortes geológicos que permiten interpretar la disposición de los materiales bajo la villa.

Abstract

This research wants to unify the geological-geotechnical knowledge from the town of Navia through the creation of a digital and computerized database in order to dispose, get access and consult the information with extremely facility. This idea starts from new actual tendencies referred to create archiving methods that allow the data management on the field. To make it, are available 17 documents or geotechnical informs, more than 70 direct surveys and an important number of indirect surveys and laboratory essays covering samples in the zone, with more than 300 geotechnical parameters determined. The sum of revised surveys equals to over 1.000 meters prospected subsoil.

To build this data base was implemented the digitalization of all available information about the subsoil, besides the researches done in fieldwork around the urban core, georeferencing this information with the purpose to integrate it below a geodatabase structure, composed for geographic files and information tables joined with them. The GIS was utilized like basic tool to manage information, because it simplifies the visualization of the information and allows the geotechnical parameters analysis and the spacial data interpretation of departure information. In this way, through the interpretation of acquired field data with the statistic processing of available geotechnical parameters, it has been won qualitative and quantitative synthesis of the geotechnical proprieties for all Navia subsoil units. These determinations have a simply character in some units, with a deeper component in others, correlating in some cases the fieldwork with the subsoil available information.

The subsoil units that compose the town are corresponding with 7 shallow soil formations and one rocky unit are all widespread along the studied area. Each formation corresponds with one determined geotechnical unit, although some of them have certain homogeneity. They are all situated over the only rocky geotechnical unit, which corresponds to Luarca slates Fm. Characterized for its metamorphism and its highly regional folding.

The final end of this project provides a geological map realized to scale 1:5.000 with more precision in the distribution of the materials that those available nowadays, besides geological cross sections that allow interpretate the materials disposition under the town.

I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. ANTECEDENTES

El presente documento representa un estudio monográfico sobre la configuración geológico-geotécnica del subsuelo y alrededores de la villa asturiana de Navia, basado en trabajo de campo y el tratamiento y análisis de informes geotécnicos realizados desde los años 90 hasta la actualidad, integrando todos los geodatos en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Los objetivos que persigue la integración de la información en una base de datos digital son variados. Por una parte permite una rápida consulta de los datos almacenados, ya sea para corroborar información, apoyar las investigaciones sobre el terreno ante futuras obras lineales y edificaciones o para servir como punto de partida para futuras ampliaciones de la información o mejora de la misma. Por otro lado, la mejora de las técnicas de prospección e investigación junto con el avance de las nuevas tecnologías hace necesaria la creación de estas bases de datos digitales, con la finalidad de reducir el volumen físico para almacenar la información que se pueda generar con el paso de los años, optimizando además su gestión.

Gracias a esta iniciativa Navia, como núcleo de población, pasa a ser pionera en la implantación de esta tipología de tratamiento digital de datos del terreno en el occidente asturiano tras la realización de trabajos similares en las principales ciudades asturianas: Oviedo (Pando, 2012), Gijón (Martínez Largo, 2014) y –en desarrollo– la ciudad de Avilés (Díaz-Díaz et al., 2014). Al igual que en los casos anteriores, un objetivo prioritario del presente trabajo es la obtención de un mapa geológico actualizado, a escala 1:5.000, que integra toda la información puntual que proporciona cada punto de reconocimiento analizado.

Para realizar la base de geodatos se ha consultado información recopilada en 17 estudios geotécnicos con una treintena de sondeos (totalizando casi unos 700 metros de registro) y penetrómetros tipo “DPSH” (Dynamic Probing Super Heavy), alrededor de 67 muestras recogidas y más de 100 ensayos de laboratorio. Debido al limitado volumen de información disponible, tanto por las dificultades de acceso a la misma como por la excesiva antigüedad de muchas edificaciones y además la consecuente mejora de la cartografía, se realizaron estudios del terreno mediante trabajos de campo para reconocer in situ las unidades geológicas y geotécnicas subyacentes al núcleo urbano de la villa y su entorno inmediato. Las jornadas de campo han permitido ampliar la información inédita disponible para confeccionar el mapa geológico, mediante cartografía de afloramientos, toma de datos estructurales, fotografías, etc.

Además, la revisión e interpretación de los estudios geotécnicos permite identificar y describir las unidades geotécnicas que componen el subsuelo naviego estableciendo, mediante tratamiento estadístico, valores numéricos de los parámetros geotécnicos que caracterizan dichas unidades, y que pueden ser utilizados como referencia bibliográfica para estudios posteriores. Toda esta información como ya se

I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

adelantó se integra en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Es importante recordar a este respecto que este potente software se emplea exclusivamente como herramienta de almacenamiento y gestión centralizada de información geológica y geotécnica, siendo el principal objetivo de este trabajo la caracterización actualizada del subsuelo naviego.

Para finalizar este apartado es importante recordar que este tipo de bases de datos constituyen estrictamente repositorios digitales para el almacenamiento y gestión de información fiable sobre el subsuelo, cuyo tratamiento deriva en productos cartográficos como el mapa señalado o bien puede recurrirse a ellas para consultar propiedades de los materiales geológicos a modo de referencia para trabajos posteriores (p. ej., fases de anteproyecto). En ningún caso su contenido debe ser empleado como información sustitutiva de aquella, de mayor detalle, que deben proporcionar las prospecciones y estudios del terreno a realizar específicamente para los proyectos constructivos tanto en obra civil como edificación.

1.2. GENERALIDADES SOBRE NAVIA

1.2.1. Localización geográfica

Navia es una villa del occidente asturiano (Fig. 1.1), capital del municipio homónimo y constituye una de las ocho parroquias en las que éste se subdivide administrativamente junto con las poblaciones de Andrés, Piñera, Anleo, Polavieja, Puerto de Vega, Villanueva y Villapedre. Navia, que está situada hacia el límite occidental del concejo y limitada por la propia Ría de su mismo nombre al este y por el Río Barayo al oeste, es la parroquia con menor extensión territorial, aproximadamente 1,31 km² (2,09 % del total municipal), pero también es la más poblada ya que casi la mitad de los habitantes del concejo residen en ella.



Figura 1.1.- Localización del municipio y villa de Navia.

El municipio naviego limita al norte con el Mar Cantábrico, al este con el Concejo de Valdés, al oeste con Coaña y al sur con Villayón. La extensión total es de 62,58 km² (mayoritariamente dominio rural), que se corresponde en un 0,59 % de la extensión total de Asturias. El acceso al municipio y a su capital se realiza fácilmente a través de la Carretera Nacional N-634 o a través de la Autovía A-8 del Cantábrico. También es posible acceder desde el sur a través del Corredor del Navia por la Carretera Regional AS-12 o la AS-25 de Navia-Villayón. Además el concejo cuenta con transporte a través de ALSA y la línea de tren Ferrol-Gijón de FEVE.

La costa naviega incluye 6 arenales; las playas más importantes se localizan en Frejulfe y Barayo, monumento y reserva nacionales, respectivamente. Además alberga numerosas calas escondidas entre sus escarpados acantilados, abarcando 12 kilómetros de costa por los que se pueden realizar diversas sendas. Una de ellas es la Senda Costera

de Navia, que bordea toda la costa del concejo permitiendo pasar por pueblos tan destacables como Puerto de Vega o las citadas Frejulfe y Barayo. Navia en su conjunto pertenece al proyecto cultural denominado 'Parque Histórico del Navia', aprobado en 2005 para fomentar la oferta cultural de la región, incluyendo también los concejos de Boal, Villayón, Tapia de Casariego, El Franco, Grandas de Salime, etc (Web del Ayuntamiento de Navia).

En la capital naviega se ha establecido una subdivisión interna que desde hace décadas estructura la expansión del núcleo urbano, integrando los nuevos barrios que surgen. En la actualidad Navia se divide en cinco distritos a su vez fraccionados en sectores (Fig. 1.2). Esta distribución del área urbana será de utilidad para ordenar la información disponible dentro de la base de geodatos en el SIG, como se verá más adelante:

- Zona norte: comprende los sectores de La Olga, La Granja, Villalonga, Las Veigas y el entorno del campo de fútbol.
- Zona sur: incluye los sectores de Ribazo-Rabión, Fornel-Pandín y Las Aceñas.
- Zona este: abarca el sector de Las Cortes y el territorio más elevado con respecto al resto, que corresponde al sector de El Corno.
- Zona oeste: está constituida por un único sector que se extiende de norte a sur denominado sector Ría.
- Zona centro: constituye el centro de Navia y antiguo núcleo desde donde se inició la expansión urbana. Su totalidad constituye el sector Centro.

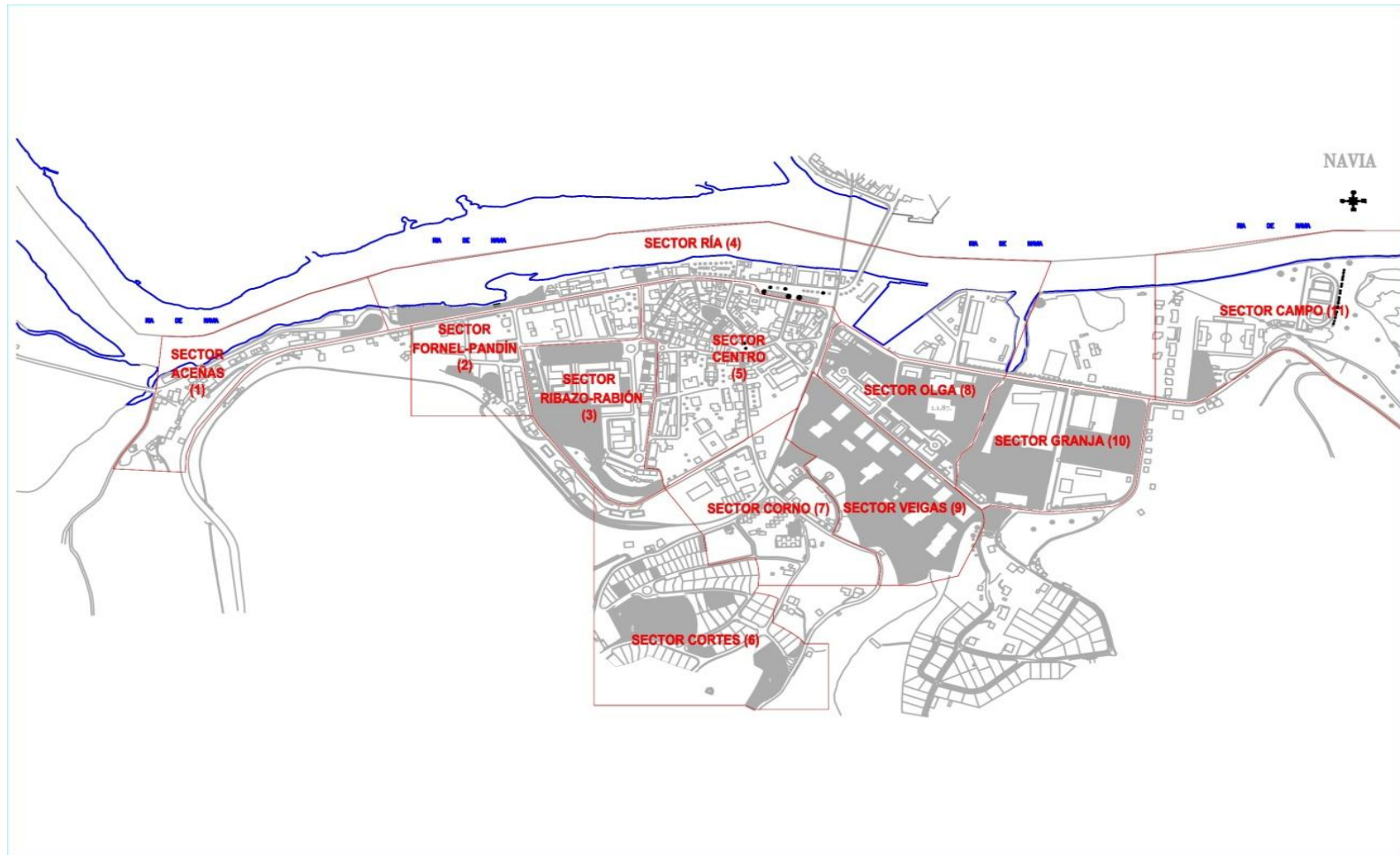


Figura 1.2.- División administrativa de la villa de Navia. Fuente: Ayuntamiento de Navia.

1.2.2. Relieve e hidrografía

La mayor parte de la orografía municipal es poco accidentada. Pueden reconocerse tres zonas bien diferenciadas: la rasa costera, los valles medios y las montañas interiores. La rasa costera destaca por su planicie no solo dentro del concejo sino extrapolada a todo el Principado. Sus alturas oscilan entre 30 y 60 metros, pero la mayor parte de los acantilados presentan alturas que rondan los 40-45 metros. La topografía es ligeramente ondulada y está tapizada por bosques de eucaliptos, pinares y robledales. En la parte baja de los acantilados la abrasión del oleaje genera diversas calas, hoy en día de interés turístico, en las que antiguamente la gente de los pueblos acudía a diversos quehaceres. El entrante más pronunciado hacia el mar lo forma la Punta Romanella que también es famosa en la zona por su riqueza pesquera. Los valles medios los ocupan las poblaciones de Talarén, Cabanella, Sante y Anleo, entre otras. Aquí los relieves se tornan más abruptos pero siguen presentando una topografía ondulada. La zona montañosa interior reúne los relieves más pronunciados del concejo. La Sierra de Panondres es el accidente orográfico más destacado (842 m) y limita el término municipal respecto al concejo de Villayón. Otras cotas elevadas son el Pico Reboridiabuéis (632 m), Pico los Carbayoís (584 m), Alto de la Aristaca (498 m) y el Pico de Caborno (435 m).

En lo que respecta a la villa de Navia, las alturas y pendientes presentan valores relativamente bajos. Tal y como se puede ver en la imagen abajo (Fig. 1.3), las alturas máximas sobre la llanura aluvial no superan los 5 metros, sin embargo los márgenes que confinan el valle fluvial contemplan alturas progresivamente crecientes hasta superar los 85 metros de altitud. En cuanto a las pendientes, en la Villa son inferiores a 5° mientras que en los márgenes alcanzan valores de 10°-20°, exceptuando los bordes de los taludes que se sitúan entre 25°-35° y en ocasiones alcanzan valores superiores a 50°.

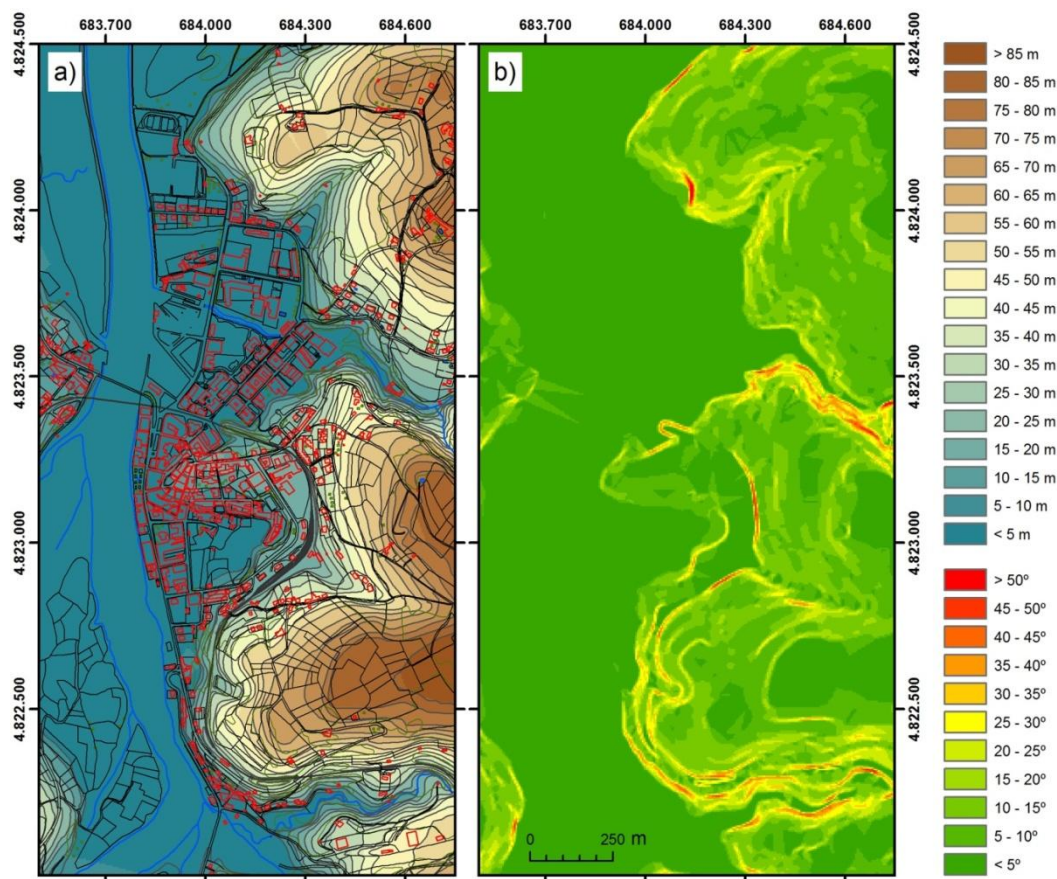


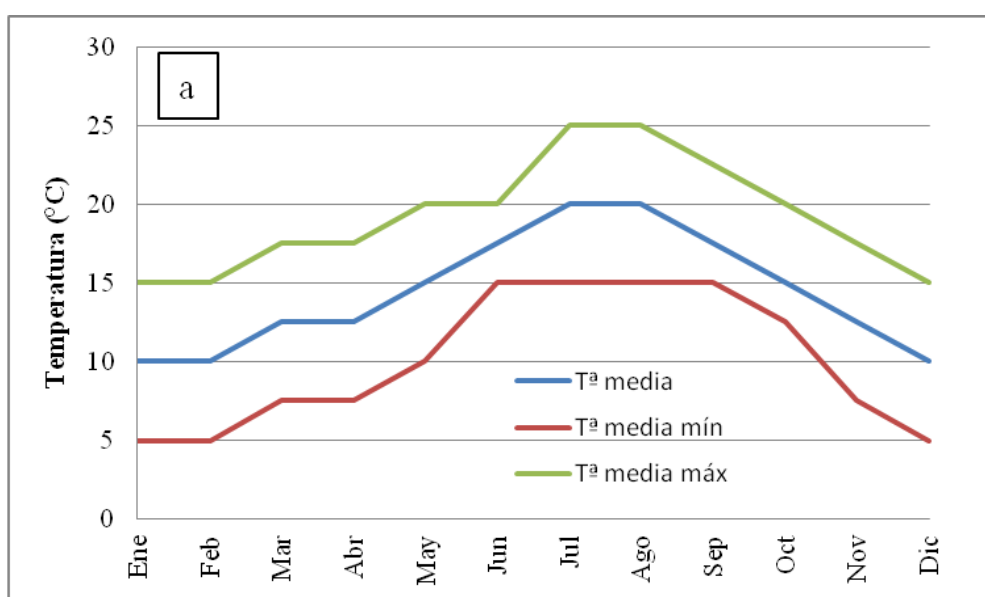
Figura 1.3.- Distribución altitudinal del relieve naviego y principales cursos fluviales. a) Distribución de elevaciones; b) distribución de pendientes.

La red hidrográfica del concejo es reducida; destaca fundamentalmente la cuenca del Navia, cuyo tramo final baña los contornos morfológicos del oeste municipal. Este río, que nace en Piedrafita do Cebreiro (Lugo) es uno de los más importantes de Asturias y el segundo más largo por detrás del Nalón, con una longitud de 99,4 km, drenando una cuenca de unos 2.590 km². Su caudal medio alcanza los 65 m³/s aunque históricamente se ha llegado a la cifra de 2.000 m³/s bajo condiciones de abertura de embalses. En su trayecto desde Galicia a Asturias, este río atraviesa tres presas. El último de los embalses es Arbón, a partir del cual comienza el serpenteante tramo final, formando islas como la que se encuentra delante de la papelera Ence, o los meandros más acusados de todo su trayecto como son Arbón, Sabariz o Porto. A lo largo de su recorrido se unen a él diferentes afluentes, pero los que destacan en el área municipal son Meiro y Anleo, de escasa importancia hidrológica. Otras cuencas importantes en el concejo son la del Frejulfe y el Barayo, que vierten las aguas a sus respectivos ríos homónimos de unos 7 km de longitud. El primero nace en la localidad naviega de Polavieja y desemboca en la playa de su mismo nombre; el segundo nace en Busmargalí

y desemboca en la Reserva Natural de la Biosfera de Barayo (Sociedad Regional de Turismo del Principado de Asturias).

1.2.3. Climatología

Desde el punto de vista climático Navia se ubica en la Zona Templada del norte compartiendo, al igual que el resto de poblaciones septentrionales españolas, un clima Atlántico u Oceánico caracterizado por temperaturas suaves con bajas oscilaciones estacionales debido al efecto ‘amortiguante’ que causa la proximidad del mar. Según la clasificación climática de *Köppen-Geiger* Navia se encuentra catalogada en la zona *Cfb*, correspondiente a un clima templado sin estación seca, con veranos templados (20-25° C) e inviernos no muy fríos (0-10° C). La temperatura media anual se sitúa en unos catorce grados centígrados (Fig. 1.4a), resultado de su posición geográfica (43° latitud norte) y de su proximidad al principal accidente orográfico del norte peninsular, la Cordillera Cantábrica. Las precipitaciones son abundantes pero están bien distribuidas a lo largo del año aunque con máximos en los meses invernales (Fig. 1.4b), situándose la pluviosidad media anual entre 950-1.000 l/m².



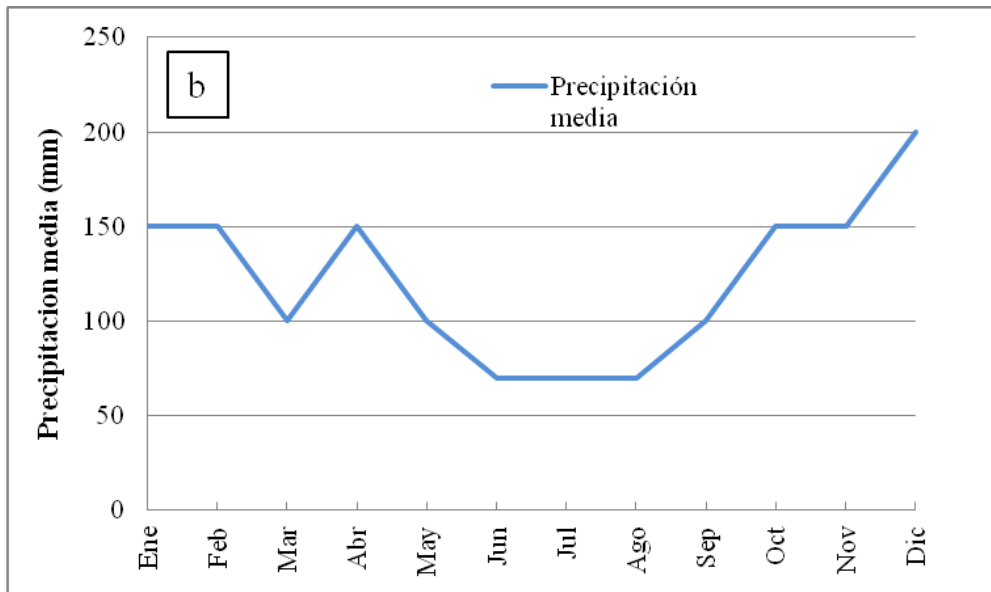


Figura 1.4.- *Temperatura y pluviosidad mensual para el período 1971-2000. Fuente: Atlas Climático Ibérico (AEMET).*

1.2.4. Historia y evolución urbana

La historia de Navia se ha ido forjando desde las primeras épocas de nuestra existencia, hecho que demuestra la aparición de herramientas de piedra del Paleolítico inferior con unos 300.000 años de antigüedad. Ya en el 650 a.c. se instalan sobre suelo naviego los primeros asentamientos celtas de Albiones y Pésicos en ambas márgenes del río, que dejan rastros como los castros repartidos por las poblaciones de Vigo, Soirana y Téifaros; en ellos que se han encontrado además de utensilios, fosos y taludes de protección. Estos pueblos tenían especial predilección por emplazarse próximos a las márgenes de los ríos ya que consideraban al agua como un elemento sagrado.

El desarrollo del Imperio Romano desencadenó no solo la invasión del concejo sino de la mayor parte del occidente de Asturias con el fin de explotar sus recursos naturales y energéticos, como demuestran los monumentos naturales de las Lagunas de Silva, As Covas da Andía o los Túneles de Peñafurada. En Navia, la abundante cantidad de oro que el propio río transportaba fomentó los asentamientos romanos en sus vegas. A los primeros asentamientos medievales precede un cambio en los modos de vida tradicionales celtas. Un ejemplo de ello es la gran riqueza cultural que las épocas romanas y visigóticas han aportado al concejo. Posteriormente, tras la aparición del reino astur los territorios se dividieron pasando a estar controlados por gentes pudientes, forzando a que surgieran nuevas clases nobles y se generasen fortunas. Producto de la bonanza económica de los favorecidos, se construyeron diversas edificaciones que hoy aún permanecen. Son referencia de este hecho las iglesias de San Antolín de Talarén,

San Miguel de Anleo y San Salvador de Piñera construidas durante los siglos X, XI y XII. Es durante este último siglo cuando comienzan a establecerse por escrito las principales divisiones y jurisdicciones entre concejos, incluyendo Navia en aquella época territorios de Villayón.

En el siglo XIII el rey Alfonso X El Sabio le otorgó a Navia la “Carta Puebla”, en la cual se concedía el poder para la construcción de una muralla que hoy en día se conoce como Muralla Medieval. Su construcción no finalizó hasta el siglo XVI, siendo su funcionalidad más estética que defensiva. Los siglos XV, XVI y XVII estuvieron fuertemente marcados por la pérdida masiva de cultivos y territorios y la decadencia de la economía, todo condicionado por conflictos políticos y condiciones climatológicas adversas. Sin embargo el siglo XVIII supuso una etapa de prosperidad y desarrollo, debido a la abundancia de ciertos cultivos como el maíz y la creciente producción de carne. Por entonces la demanda de materias primas para la armada reactiva la economía del concejo. Algunas iglesias y palacios constatados en esta época son las iglesias de Santa Marina de Puerto de Vega, Santiago de Villapedre, Capilla de la Atalaya y de Lebrón también en Puerto de Vega o el Palacio de Campo-Osorio en Piñera.

Finales del siglo XIX y principios del XX supone una época de recuperación económica, tras la invasión francesa y los conflictos políticos producidos durante la primera mitad del siglo XIX. El desarrollo de la burguesía, junto con el dinero aportado por los emigrantes de ultramar conduce a una mejora de las comunicaciones y las infraestructuras en todo el concejo. Es en este momento cuando se construye el puente de hierro que une los concejos de Coaña y Navia y se levantan las iglesias de Nuestra Señora de La Barca y San Roque y los casinos de Navia y Puerto de Vega. Además, la consolidación del núcleo urbano de la villa introduce la colocación de alumbrado público y la construcción de sistemas de desagües y alcantarillados.

Durante esta época, algunos ilustrados como el notario D. Rafael Calzada defendieron e impulsaron la transformación del entorno del estuario mediante la canalización de la ría. Esto incluía la desecación de los terrenos situados al norte de Navia, Las Olgas, que en el pasado constituyeron marismas; esta actuación permitía generar espacio para la expansión urbana. La dársena también se modificó colocando diques, aplicando rellenos y ampliando el puerto (Fig. 1.5). Pero lo que mayor incidencia tuvo en la economía local fue la mejora de la navegabilidad de la ría; para ello alrededor de 1930 dieron comienzo las obras de canalización del cauce y dragado de los lechos fluviales. Estas obras se realizaron por tramos y concluyeron en torno a los años 50. Estas modificaciones lógicamente condicionaron la actuación de los procesos naturales que formaron los campos dunares y dieron forma a la playa actual.



Figura 1.5.- Plano antiguo de Navia, realizado por J. Giráldez (1919), escala 1/15.000.

1.2.5. Demografía

Hasta entrado el siglo XVIII, Navia presentaba una evolución demográfica menguante ya que la agricultura intensiva abarcó amplias zonas y en épocas recesivas proliferaron las epidemias y las hambrunas. La tasa de natalidad no era baja pero si lo era la esperanza de vida junto con una elevada mortalidad infantil. El empleo era escaso y proliferaban las migraciones de ultramar. Durante el siglo XIX la esperanza de vida crece hasta rebasar la cifra de los 12.000 habitantes en el municipio; esto se debió a la mejora de la calidad de vida en las viviendas, la generalización de las redes de saneamiento y la mejora en las comunicaciones. A finales de siglo se produce una caída en la población, posiblemente por la aparición de enfermedades como el cólera, la viruela o la gripe.

Ya en el siglo XX la tasa de población vuelve a crecer y de manera muy significativa gracias a la evolución económica del concejo, lo que hace que pase de 5.800 a 9.063 habitantes desde principio hasta final de siglo. El cambio al aprovechamiento de la energía hidroeléctrica y la consecuente construcción de los embalses de Grandas de Salime, Doiras y Arbón supuso un significativo aporte de inmigración al concejo y en general a la comarca del Eo-Navia. Este cambio atrajo nueva industria a la zona, caso de los astilleros y la fábrica de harinas y, más recientemente, las fábricas de Ence y Reny Picot. A partir de 1980 el crecimiento poblacional comienza a estabilizarse (Fig. 1.6), alcanzando el censo municipal la cifra de 8.772 habitantes en 2014, de los cuales 3.915 (44,6 %) viven en la parroquia y capital de su mismo nombre.

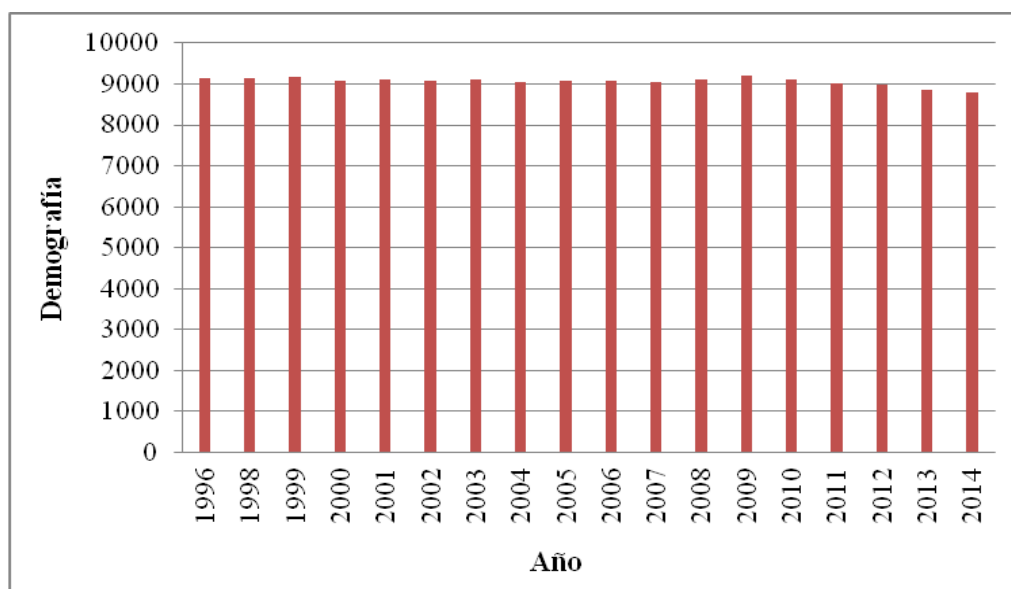


Figura 1.6.- Diagrama de barras mostrando la distribución de población en el concejo de Navia. Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).

1.3. MARCO GEOLOGICO

1.3.1. Introducción

Asturias se engloba dentro del denominado Macizo Ibérico, correspondiente a la parte occidental de la Península Ibérica, el cual se caracteriza por el afloramiento de rocas precámbricas y paleozoicas afectadas por la orogenia Varisca. Lotze (1945) diferenció dos zonas en el norte del Macizo Ibérico (Fig. 1.7): la Zona Cantábrica (ZC) y la Zona Astur-Occidental Leonesa (ZAOL). La ZC se extiende hacia el oriente desde el núcleo del denominado Arco Ibero-Armoricano, en el centro de Asturias. Se trata de la zona más externa del orógeno varisco y comprende rocas paleozoicas de naturaleza silíceea y carbonatada, deformadas por cabalgamientos y plegamientos típicos de una tectónica de “thin-skinned” con ausencia de metamorfismo y granitización. Discordantes por encima de estos materiales se localizan sedimentos posteriores, fundamentalmente del Mesozoico y Cenozoico, que se distribuyen a modo de cuencas, destacando en Asturias la Depresión Meso-terciaria Asturiana en la que se distinguen al norte la Cuenca de Gijón-Villaviciosa y en el centro la Cuenca de Oviedo (Aramburu y Bastida, 1995).

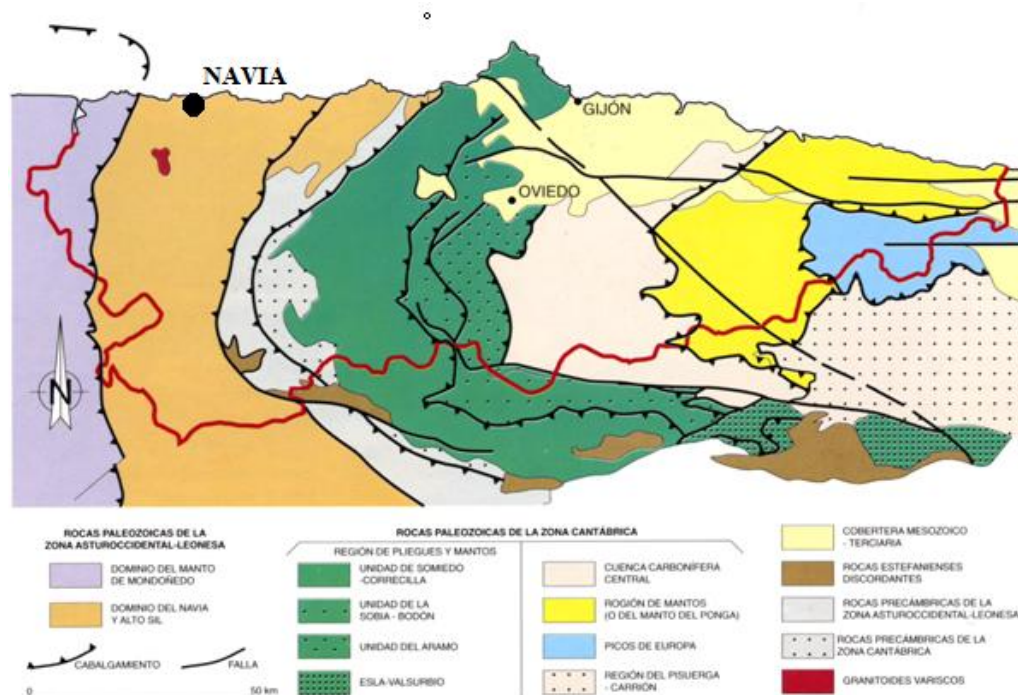


Figura 1.7.- Mapa geológico de Asturias ilustrando los dominios comentados en el texto. Tomado de “Geología de Asturias” (Aramburu y Bastida eds., 1995).

La ZAOL se extiende desde el centro de Asturias hacia el occidente, entrando en Galicia hasta la falla de Vivero que constituye su límite occidental. Se considera una zona más interna del orógeno y está formada por rocas principalmente silíceas del Paleozoico inferior que desarrollan una intensa deformación dúctil por metamorfismo, incrementado de este a oeste, generándose pliegues acostados y cabalgamientos cuya abundancia aumenta hacia el oeste. La deformación de esta zona representa una tectónica de “thick-skinned” (piel gruesa). Dentro de la ZAOL, Navia se ubica en el Dominio del Navia y Alto Sil, una de las tres subdivisiones establecidas, donde se dan los mayores espesores del Paleozoico inferior.

1.3.2. Estratigrafía

La constitución litológica del área de estudio es variada (Fig. 1.8). Se compone de un basamento paleozoico sobre el que se depositan sedimentos cuaternarios de origen fluvio-mareal, y materiales formados por otros procesos geológicos que actuaron en la zona. A continuación se describen sucintamente los materiales (Marcos, 1973):

- *Formación Pizarras de Luarca (Ordovícico medio)*: se caracteriza por poseer gran uniformidad en sus facies, constituidas por pizarras negras ricas en piritita con nódulos arcillosos y capas delgadas de hierro oolítico. Se diferencian tres miembros:
 - I. Miembro inferior: formado por pizarras negras con abundante piritita y hierro oolítico. Hacia el techo presenta intercalaciones delgadas de cuarcita.
 - II. Miembro medio: cuarcitas blancas (no afloran en el área de estudio).
 - III. Miembro superior: prácticamente similar al inferior, pero con intercalaciones cuarcíticas muy escasas.

Su tránsito a la Fm. Agüeira (a techo) es gradual. Está fuertemente afectada por las diferentes fases de deformación varisca, formando pliegues y dando lugar a buzamientos de 70-80° grados, llegando incluso a la verticalizarse las capas y a invertirse los buzamientos.

- *Formaciones superficiales (Cuaternario)*: se adopta la descripción aportada por Menéndez Duarte (2002) y que puede verse en la Figura 1.8:
 - Depósitos clásticos con abundante matriz silícea: materiales de reptación superficial o inestabilidades de ladera (coluviones) de naturaleza pizarrosa.
 - Depósitos clásticos con escasa matriz silícea: clastos redondeados a subredondeados cuarcíticos embebidos en una matriz arcillosa no muy abundante. Se localizan en zonas elevadas y planas, y corresponden a depósitos de la antigua plataforma de abrasión marina (depósitos de la rasa).

I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

- Depósitos aluviales: principalmente llanuras aluviales y terrazas fluviales. Estas últimas se localizan colgados respecto al curso fluvial en las laderas adyacentes.
- Depósitos litorales: materiales específicos de un ambiente estuarino, están mayoritariamente localizados en la desembocadura fluvial y los constituyen tres tipos de depósitos: (a) áreas litorales con acumulación de bloques y cantos; (b) Áreas litorales con acumulación de arenas, constituyendo los depósitos de playa y cordón dunar; (c) sedimentos estuarinos de arenas y fangos.
- Depósitos antrópicos: rellenos situados fundamentalmente sobre las llanuras aluviales para acondicionar los terrenos bajo las edificaciones e infraestructuras.

Sobre las mencionadas Pizarras de Luarca se asentaba inicialmente la antigua Navia, fortificada por la muralla medieval. Hoy día gran parte del pueblo se asienta sobre los sedimentos cuaternarios de marisma formados por la dinámica de la ría, de influencia fluvial y mareal. Estos depósitos se disponen discordantemente sobre el sustrato paleozoico.

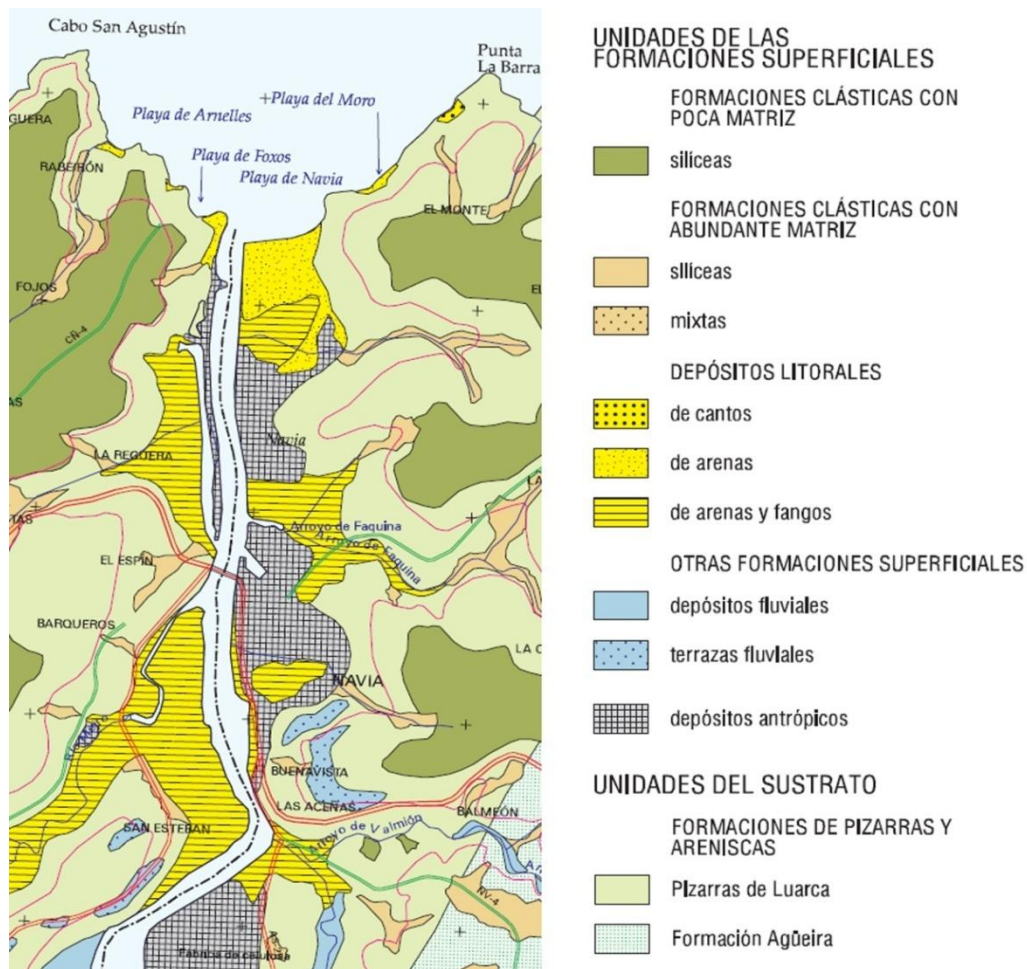


Figura 1.8.- Mapa geológico de la zona realizado por el INDUROT (Menéndez Duarte, 2002). Escala original 1:25.000.

1.3.3. Estructura

La zona de estudio se localiza dentro de la Unidad del Navia, una de las grandes unidades estructurales en las que se divide la ZAOL y que difiere bastante de la vecina Unidad del Eo. En términos generales, esta unidad conforma un sinclinorio con varios pliegues anticlinales apretados de plano axial subvertical vergentes hacia el este, produciendo que los flancos orientales se basculen en esta dirección (Marcos, 1973). Los forman fundamentalmente la Serie de Los Cabos y las Pizarras de Luarca, exclusivamente cuarcíticas y pizarrosas. Entre estos anticlinales se generan plegamientos sinclinales de plano axial similar a los anteriores pero menos apretados, formados por las pizarras de la Fm. Agüeira. Además de los numerosos plegamientos, se desarrollan importantes cabalgamientos de traza NE-SW en dirección E, que repiten la secuencia del Paleozoico inferior. Estos plegamientos y cabalgamientos se originan en diferentes fases de deformación en relación con el avance de la orogenia Hercínica (Fases F1, F2 y F3), e implican un desarrollo de esquistosidades (Fig. 1.9) que se cortan

y superponen entre sí (Aramburu y Bastida, 1995). Dentro de la unidad también se localizan afloramientos de rocas ígneas tardihercínicas, encajadas tras las fases de deformación, como son los granitoides calcoalcalinos de Porcía-Salave- Represas o los granitos de dos micas de Boal, por nombrar algunas intrusiones cercanas a Navia.

En el entorno de la localidad de Navia, exclusivamente pizarroso, la Fm. Luarca se dispone formando un gran sinclinal más o menos laxo en el entorno del Río Meiro seguido por un anticlinal más apretado, ambos de plano axial subvertical y traza axial NE-SW (Marcos y Pulgar, 1976).



Figura 1.9.- Pizarras de Luarca en el área de estudio (sector “Veigas”), mostrando un clivaje o foliación S1 típico de la primera fase de deformación varisca (F1).

1.3.4. Hidrogeología

Las propiedades hidrogeológicas de los materiales en esta zona del occidente asturiano difieren bastante de las que muestran los acuíferos kársticos presentes en otras zonas de Asturias, caso de Gijón-Villaviciosa u Oviedo-Cangas de Onís. En el entorno naviego coexisten dos tipologías de materiales de comportamiento hidrogeológico claramente distinto.

El sustrato lo componen las formaciones Pizarras de Luarca y Agüeira, ambas pizarrosas, pertenecientes al zócalo paleozoico; el fino tamaño de grano en estas dos unidades hace que la porosidad eficaz resulte prácticamente nula. Si a esto se le suma las importantes precipitaciones que se registran en la zona, como es esperable se favorece la escorrentía superficial. Distintas propiedades hidrogeológicas ofrecen los depósitos cuaternarios de rasa costera y cursos fluviales. Los primeros están constituidos por materiales detríticos arcillo-arenosos muy poco consolidados y de reducido espesor, dispuestos sobre el sustrato. La presencia de una mayor proporción de arcillas frente a arenas, la existencia de zonas completamente llanas (típicas de “rasa” costera) y la presencia de un sustrato paleozoico impermeable unido a las intensas precipitaciones, implica una ausencia de drenaje generalizada y estancamiento del agua infiltrada.

Por su parte los depósitos fluviales de los ríos consisten en arenas limosas y niveles arcillosos con abundante materia orgánica, generalmente impermeables, si bien existe agua subálvea en ellos al no existir formaciones permeables cercanas no se favorece su circulación. Sólo los niveles basales constituidos por gravas arenosas podrían formar acuíferos, y estas son muy escasas y de reducido espesor. Esto junto con la existencia del sustrato impermeable genera encharcamientos generalizados, los cuales pueden observarse en momentos de precipitaciones en las llanuras aluviales y marismas adyacentes a los cursos fluviales (Marcos y Pulgar, 1976).

1.3.5. Geomorfología

Como se ha comentado en el apartado de relieve e hidrografía, el concejo está emplazado en la desembocadura de una gran cuenca (la del Navia) por el este, y dos cuencas bastante más pequeñas (Frejulfe y Barayo) por el centro y el oeste, respectivamente. Para introducir la geomorfología de la zona cabe destacar la cuenca del Navia, que es la importante de cara a las variaciones del relieve en la zona de estudio. El Río Navia, de trazado más o menos N-S, durante el largo recorrido desde Galicia hacia el Mar Cantábrico recibe agua de varios afluentes de los cuales el Meiro es el más importante y caudaloso en las proximidades, incorporándose al Navia por el oeste. Ambos ríos se separan en las inmediaciones de la desembocadura por una serie de colinas de unos 80 metros de altitud sobre el nivel del mar, que a medida que profundizan hacia el sur llegan a alcanzar los 600 metros de altura pasando a conocerse como sierra del Cordal de Coaña.

Toda la rasa costera que rodea a la población navega se encuentra a alturas comprendidas entre 50 y 70 metros no superando el 3 % de pendiente y, exceptuando las colinas de San Esteban (75-80 metros) y el gran accidente del Pico Jarrío pertenecientes al concejo vecino (362 metros), el relieve es generalmente plano y continuo. En síntesis se pueden distinguir las siguientes unidades morfológicas según la cartografía ambiental realizada por el INDUROT (Menéndez Duarte, 2002):

- *Las sierras litorales.* Denominadas así por ser zonas elevadas con laderas propias de un relieve fluvial joven, constituyen el límite sur del municipio.
- *Las rasas.* Representan las antiguas plataformas de abrasión marinas emergidas. Debido a su reducida pendiente los cauces que drenan su superficie no llegan a encajarse significativamente, por lo que en torno a ellos se depositan sedimentos fluviales. Estas plataformas se interrumpen bruscamente en el norte, dando paso a abruptos acantilados. Asociados a estas rasas destacan depósitos de arenas y cantos silíceos con escasa matriz, de origen marino, típicos de estas plataformas emergidas.
- *El litoral costero.* Está formado por acantilados escarpados y la plataforma marina actual. En los acantilados destacan las zonas sometidas a erosión, donde se amontonan depósitos de fragmentos provenientes de la desestabilización de los taludes, así como acumulaciones de cantos provenientes de la actividad fluvial removidos posteriormente por el oleaje, y zonas protegidas, donde se acumulan sedimentos arenosos (desde la zona supramareal a la submareal).

1.2.6. Sismicidad

Actualmente, en el NO de la Península Ibérica existe una sismicidad de carácter bajo a moderado dentro del contexto sismotectónico euromediterráneo. Esta se distribuye de modo irregular: la mayor concentración de eventos se localiza en la parte meridional y más oriental de Galicia, incluyendo también el sur de Orense y suroeste de Pontevedra. En el resto de la comunidad se encuentra bastante dispersa. En Asturias se concentra en la zona occidental y en la plataforma continental. Hacia el sur y hacia el este la sismicidad disminuye, siendo mínima en el oriente asturiano (Fig. 1.10). Las magnitudes de los eventos que se han observado son fundamentalmente moderadas a bajas, no superiores a 3,5 (escala de Richter), exceptuando algunos episodios de magnitud mayor a 4. El reconocimiento y caracterización de la actividad sísmica reciente en esta zona peninsular ha permitido establecer cinco dominios sismotectónicos (López Fernández et al., 2004), entre los cuales Navia se encuentra en el dominio IV. Este se localiza recubriendo todo el margen cantábrico, y se caracteriza por poseer una estructura cortical alpina muy marcada. La sismicidad en este dominio en la plataforma responde a estructuras recientes NO-SE, mientras que en tierra parece estar debida al rejuego de estructuras variscas previas, entre ellas reapretamiento de pliegues, activación de estructuras E-O, etc. Los mecanismos focales indican una componente

principal de desgarre e inversa en un régimen compresivo. Hacia el oeste de la falla de Ventaniella, que discurre por centro del macizo asturiano, se produce una severa disminución de esta actividad sísmica y con ella, hacia la zona de estudio. Con un enfoque geotécnico, para el proyecto de las edificaciones e infraestructuras llevadas a cabo en Navia, no se es de aplicación la Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-02) ya que la aceleración sísmica básica del suelo no supera los 0,04 g (Ministerio de Fomento, 2002).

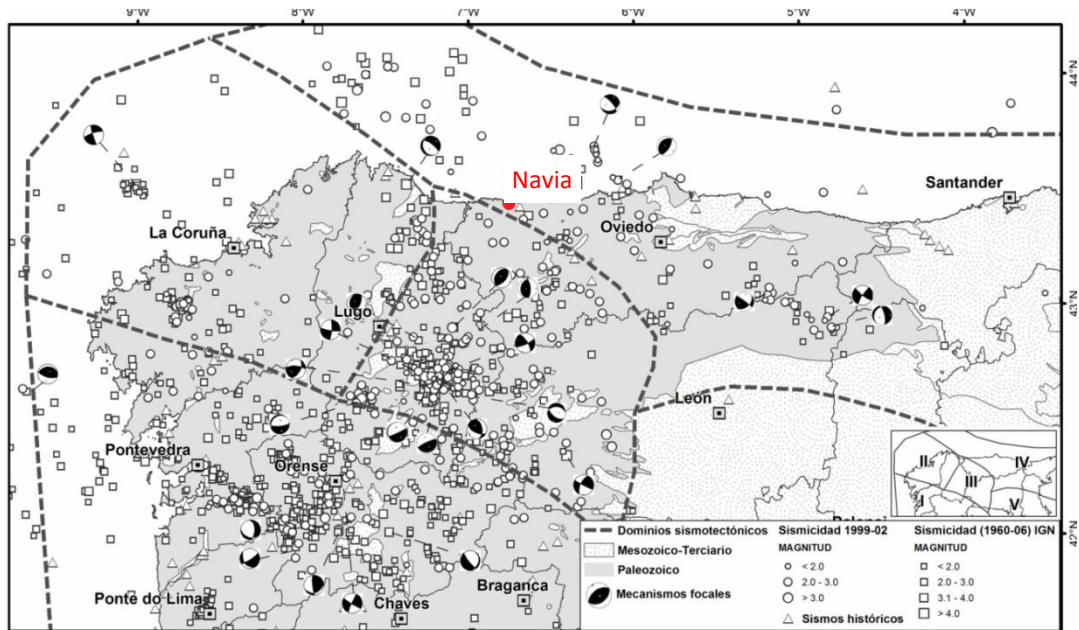


Figura 1.10.- Distribución espacial de los dominios sismotectónicos del NO de la Península Ibérica (López-Fernández et al., 2004).

1.4. OBJETIVOS

El objetivo primordial de este trabajo es recopilar, analizar y almacenar datos sobre la configuración geológico-geotécnica del subsuelo urbano de Navia y sus alrededores, en un Sistema de Información Geográfica. Ello permite asegurar su conservación centralizada y la incorporación eficiente de nuevos datos que se obtengan, así como su utilización a modo de repositorio de soporte y consulta para futuras prospecciones que se lleven a cabo en el subsuelo naviego.

A continuación se exponen los objetivos parciales desglosados que conducen en su conjunto al propósito fundamental de este Trabajo Fin de Máster:

- Recopilación, revisión e interpretación de informes geotécnicos elaborados para obras proyectadas en la villa.
- Realización de trabajo de campo para caracterizar geológicamente los alrededores del núcleo urbano donde no se dispone de prospecciones.
- Integración de la información, tanto documental como obtenida en campo, en una base de geodatos implementada en un Sistema de Información Geográfica, georreferenciando todas las prospecciones y puntos de observación.
- Análisis de la información disponible sobre la configuración del subsuelo y propiedades de los materiales, al objeto de establecer unidades de comportamiento geotécnico homogéneo.
- Tratamiento estadístico y valoración cualitativa de los parámetros geotécnicos disponibles, a fin de establecer su representatividad y las implicaciones geotécnicas de las unidades identificadas.
- Realización de una serie de recomendaciones o soluciones de cara a futuras cimentaciones en el ámbito de la villa.
- Actualización de la cartografía geológica del núcleo urbano de Navia y sus inmediaciones a escala 1:5.000, realizando cortes geológicos para la mejora de la visualización de los datos.
- Sectorización geotécnica del subsuelo urbano de Navia.
- Redacción de una memoria en la que se recojan los antecedentes, la metodología empleada, los resultados obtenidos y las conclusiones que derivan de los trabajos realizados.

Esta investigación se aborda de manera que toda la información y procedimientos llevados a cabo a lo largo del trabajo queden correctamente explicados y estructurados en la presente memoria, asegurando que la metodología sea reproducible. En cualquier caso la base de datos digital generada es al tiempo un objetivo, una herramienta y un punto de partida para posteriores estudios que se aborden en el subsuelo naviego; así, existe un propósito que excede a este Trabajo Fin de Máster, y es demostrar una vez más la eficiente gestión de datos geológicos y geotécnicos que permite un SIG. Máxime esto último dada la creciente implantación de esta tecnología y las posibilidades que

I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

ofrece para el intercambio de datos sobre el territorio de diversa naturaleza y procedencia.

II. METODOLOGÍA

2.1. GENERALIDADES

A lo largo de este capítulo se describe el proceso llevado a cabo para levantar una base de datos digital geológico-geotécnica, a partir de la información extraída de los informes recopilados así como de los puntos de reconocimiento realizados durante las jornadas de campo realizadas. Previamente a la descripción de la estructura de la base de datos, se realizará una pequeña introducción a los Sistemas de Información Geográfica.

Los Sistemas de Información Geográfica son sistemas informáticos que permiten el almacenamiento y manejo de datos espacialmente referenciados. Son el resultado de la utilización de las llamadas Tecnologías de la Información (TI) en la gestión de la Información Geográfica (IG). Según el Instituto Geográfico Nacional (IGN) en término “SIG” tiene tres acepciones: el SIG como disciplina, el SIG como proyecto (cada una de las realizaciones prácticas o implementaciones existentes) y finalmente el SIG como software (programas y aplicaciones en un proyecto SIG). Sin embargo, la utilización de este término en el marco de este Trabajo Fin de Máster hace referencia al SIG como proyecto, es decir, un sistema que gestiona la información geográfica (georreferenciada).

La definición más extendida de SIG es la establecida por el Departamento de Medio Ambiente (DMA) que dice *“Conjunto integrado de medios y métodos informáticos, capaz de recoger, verificar, almacenar, gestionar, actualizar, manipular, recuperar, transformar, analizar, mostrar y transferir datos espacialmente referidos a la tierra.”* Sin embargo también se acepta *“Un modelo informatizado del mundo real, descrito en un Sistema de Referencial ligado a la Tierra, establecido para satisfacer unas necesidades de información específicas respondiendo, del mejor modo posible, a un conjunto de preguntas concreto.”* (F. Bouillé, 1978) ya que un SIG debe verse como un modelo del mundo real (Web del IGN). En otras definiciones, se hace referencia a todo el sistema informático, los datos e incluso los operarios: *“Conjunto organizado de hardware, software, datos geográficos y personal diseñado para la eficiente captura, almacenamiento, actualización, manipulación, análisis y presentación de información georreferenciada”* (ESRI, 1987).

En la década de los 60 del pasado siglo se desarrolló el “GIS-Canadá”, el primer producto que puede ser considerado como un SIG tal cual se concibe hoy día. En los 80 se produce una expansión generalizada de productos más avanzados (desarrollo de los SIG por parte de casas comerciales, generalización y disponibilidad de imágenes de satélite, desarrollo de plataformas informáticas con mayor potencial para el soporte gráfico, etc.). Ya en la década de los 90, la tecnología SIG se consolida y tiene lugar su expansión hacia campos diversos como el medio ambiente, prospección minera, urbanismo, gestión forestal y agrícola, etc.

Las principales virtudes que posee un SIG provienen de su amplia capacidad para almacenar y procesar capas de información de distinta naturaleza con representación geográfica. Estas capas deben presentar un tipo de datos concretos, en un formato determinado, y con una referenciación geográfica compatible para asegurar la correcta superposición de la información. El conjunto de capas almacenadas suele responder a una estructura jerárquica, y junto con las eventuales tablas no espaciales, conforma una base de geodatos espaciales.

Lo que más destaca de un SIG a los efectos de este trabajo, y que lo diferencia de otros programas informáticos que también permiten organizar información, es su capacidad para combinar y analizar espacialmente datos de diferente naturaleza; y por supuesto su capacidad para generar nueva información y dotar a esta de salida gráfica.

2.2. ADQUISICIÓN DE DATOS

Esta ha sido la fase inicial para la realización de este trabajo, y al igual que en trabajos realizados anteriormente (Pando, 2012; Martínez Largo, 2014) comprende dos tareas: acopio de información documental y trabajo de campo para la caracterización de materiales in situ. Cabe destacar de inicio las dificultades que supone conseguir documentación en este tipo de investigaciones. Fue necesario entrar en contacto con determinadas empresas constructoras que operaron en la zona de estudio, así como acudir al Ayuntamiento de Navia en busca de información o a la entrevista de personas con conocimiento de la zona. Lógicamente el volumen de datos es limitado y menor del deseado, pero la recopilación en sí misma no es el objetivo último de este trabajo; sí lo es marcar un punto de partida para que la base de datos pueda ir creciendo.

Los informes y/o documentos revisados (Fig. 2.1) son inéditos a efectos investigadores; no han estado disponibles para publicaciones científicas, es decir, su utilización ha quedado restringida al respectivo proyecto constructivo. Este acopio de material se constituye de 17 informes geotécnicos pertenecientes al ámbito urbano (Fig. 2.2), que contienen información referida a sondeos, ensayos de penetración dinámica y calicatas; también se incluyen tanto ensayos realizados in situ (pruebas penetrométricas, SPT, etc) como ensayos de laboratorio sobre muestras recogidas en campo. Los datos adquiridos en dichas jornadas de campo se incorporan como puntos de reconocimiento localizados en los alrededores del núcleo urbano; en estas estaciones se proporciona información sobre el sustrato, el tipo de formaciones superficiales presentes y su espesor, así como otras apreciaciones sobre los materiales (p. ej., compacidad).

Nota del autor: Dado que el trabajo se realiza bajo confidencialidad en cuanto a organismos, empresas y particulares que suministraron la información necesaria para este trabajo, la base de datos generada no se incorporará a la memoria y se omitirá en la misma toda relación que vincule la información geotécnica disponible con las entidades anteriormente citadas.



Figura 2.1.- *Documentación geotécnica revisada y analizada durante la realización de este trabajo.*

La bibliografía consultada para la realización de este trabajo ha sido empleada para la caracterización geológica del ámbito de estudio, pero desde el punto de vista geotécnico no existen documentos de referencia sobre el subsuelo local. Las prospecciones llevadas a cabo en la zona no han sido interpretadas en el ámbito académico de manera que se pueda tener acceso a ella por medio de revistas o publicaciones.

Un aspecto que es fundamental señalar es que el presente trabajo se ha realizado bajo compromiso de confidencialidad respecto a los organismos, empresas privadas y particulares que han facilitado el acceso a documentación, aportado otros datos o información verbal. Toda esta información se utiliza con un propósito meramente investigador, sin interés lucrativo y sin que pueda comprometerse la privacidad de quien ha colaborado; para asegurar esto último la base de datos digital propiamente dicha no se incorpora a esta memoria.

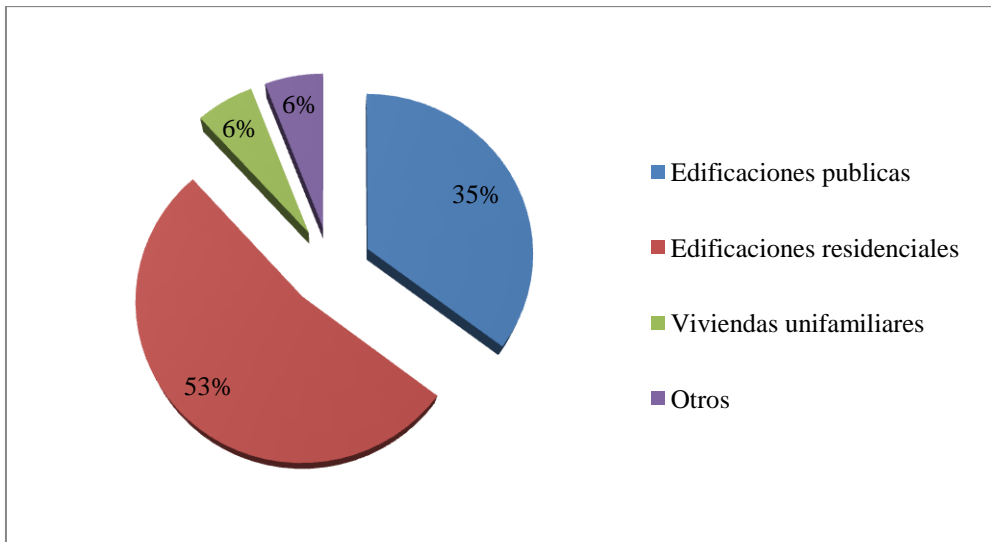


Figura 2.2.- *Procedencia de los informes geotécnicos recopilados y revisados.*

2.3. BASE DIGITAL DE GEODATOS

2.3.1. Introducción

Una base de datos SIG es un mecanismo de almacenamiento digital de datos espaciales y atributos, gestionado en este trabajo mediante el software ArcGIS (ESRI). Este volumen de datos lo denominamos “geodatos”, y comprende elementos geográficamente localizados con sus correspondientes atributos incorporados. Los “geodatos” soportan diferentes formatos de almacenamiento, entre ellos “shapefile”, “coberturas”, imágenes ráster, etc. También se gestionan datos tabulares como son los recopilados en archivos “.dbf”.

Como se ha dicho al principio de capítulo, la principal diferencia existente entre un SIG y otros programas es la capacidad de interrelacionar los elementos o datos cargados al sistema mediante diferentes herramientas. Mientras que otros programas no considerados SIG solo realizan funciones de genéricas de lectura de archivos y procesamiento espacial, los SIG permiten crear nuevas capas de información mediante la utilización de dichas herramientas y la información contenida en las bases de datos y atributos contenidos. El procesado inicial de los datos se llevó a cabo mediante el programa Microsoft Office Excel 2007, utilizándolo para crear las primeras tablas, cálculos con datos numéricos y realización de gráficos de interés. A continuación la información fue incorporada a ArcGIS. Dentro de este, existen dos módulos que constituyen los principales puntos de operación del programa:

- ArcMap: se utiliza para cargar, visualizar mapas y efectuar consultas en ellos. Interacciona además una gran variedad de funciones de análisis espacial en la denominada *Arctoolbox*, un conjunto de herramientas que permite analizar, combinar, seleccionar, e interpolar información, entre otras muchas funcionalidades que presenta, y crear nuevos mapas a partir de datos previos.
- ArcCatalog: su funcionalidad principal es la de gestionar el acceso al árbol de contenidos de los conjuntos de datos creados. Permite crear nuevas bases de datos, crear nuevas capas que se editarán en ArcMap, o acceder archivos almacenados en el disco duro, memorias externas, servidores de mapas, etc.

Toda la información se encuentra georreferenciada respecto a un sistema de referencia concreto sujeto a un datum determinado. El sistema utilizado en este trabajo corresponde al Sistema de Referencia Terrestre para Europa, denominado European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89); el Real Decreto 1071/2007 es el que establece el ETRS89 como sistema de referencia geodésico oficial en España, incluyendo el ámbito de la Península Ibérica y las Islas Baleares. La proyección es bajo sistema de coordenadas UTM, en este caso correspondiendo al uso 29T.

Conforme a lo anterior, la zona de estudio ha quedado acotada entre las siguientes coordenadas: $X_{MÍN} = 683.500$; $X_{MÁX} = 684.750$; $Y_{MÍN} = 4.822.000$; $Y_{MÁX} = 4.824.500$. Su superficie abarca $3,125 \text{ km}^2$.

2.3.2. Organización

Toda la información que se gestiona en esta investigación se estructura en dos grandes bloques temáticos. Por una parte está la información sobre el subsuelo, que se integra en un banco de datos geológicos y geotécnicos. Por otro lado, y dado que se trabaja con información espacial, es imprescindible contar con un soporte de datos geográficos consistente y que dote de referencias posicionales a los datos sobre el terreno.

Para introducir toda la información recopilada de los informes y las jornadas de campo en la base de datos de ArcGIS, es necesario jerarquizar el proceso en una serie de pasos a seguir. Lo primero a tener en cuenta es el lugar físico de almacenamiento en el ordenador; por ello, se crea en primera instancia una *geodatabase* en el ArcGIS para tener guardados y organizados todos los archivos digitales creados y modificados posteriormente. Esta base de datos digital o *geodatabase* recibe el nombre de “GDB_NAVIA”.

La información sobre el subsuelo urbano naviego, georreferenciada o no, deriva de los informes geotécnicos revisados, y se desglosa en tablas cuya estructura se explica más adelante. También se implementan los puntos de observación realizados y su información relacionada. Toda esta información almacenada se separa en dos tipos de archivos en ArcGIS:

- Tablas no espaciales: información correspondiente a los informes, ensayos de penetración estándar SPT, así como ensayos de laboratorio en muestras tomadas en sondeos y calicatas. Se trata por tanto de información no georreferenciada, ya que aunque se encuentra en un espacio físico, es tomada de puntos sobre el terreno que si están georreferenciados. Esta información ha de ser revisada antes de importarse al programa para poder realizar operaciones dentro de este.
- Capas geográficas: información correspondiente a elementos posicionales inequívocamente en el espacio, tales como sondeos, pruebas de penetración dinámicas, calicatas y puntos de observación sobre el terreno. Esta información debe ser en primer lugar georreferenciada, para lo cual se toman elementos como partida los planos de localización de las prospecciones, así como otros mapas de apoyo georreferenciados. A partir de ahí se asigna un sistema de referencia a cada archivo (ETRS89 y uso 29 en este caso como ya se ha señalado) integrándose en la base de geodatos generada (GDB_NAVIA), para así poder cargar y visualizar la información.

Un aspecto fundamental para optimizar el almacenamiento de datos geológico-geotécnicos es lograr la consistencia e integridad de la base de datos. Esto supone en primer lugar evitar datos repetidos, asegurando que cada registro sea único. Para ello se ha asignado a cada elemento de la base de datos una clave alfanumérica propia, cuya configuración se explica más adelante.

2.3.3. Soporte geográfico

La incorporación de capas con información gráfica como complemento a la información geológico-geotécnica es imprescindible. No sólo sirven como soporte cartográfico para la gestión de los datos sobre el subsuelo y para generar mapas derivados, sino que se emplean como elementos de referencia ineludibles cuando se georreferencian las prospecciones o se localizan los puntos de reconocimiento del trabajo de campo. Para obtener esta información geográfica se recurre a repositorios digitales públicos de los organismos que generan este tipo de documentos; fundamentalmente en el caso que nos ocupa el Instituto Geográfico Nacional (IGN), el Servicio de Información Territorial de Principado de Asturias (SITPA) y la concejalía de urbanismo del Ayuntamiento de Navia. También se han consultado los productos publicados por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

En primer lugar se sometió a dichos documentos a un sencillo control de calidad para asegurar la consistencia espacial de los datos, comprobando su sistema geodésico de referencia y un buen ajuste de superposición, así como una resolución adecuada en el caso de los archivos ráster. En el presente trabajo se ha trabajado fundamentalmente con los siguientes documentos de soporte geográfico:

- a) *Cartografía topográfica*. En particular comprende la cartografía de escala 1:5.000 proporcionada por el servicio autonómico, publicada en 2009 ya bajo sistema de referencia ETRS89 (Fig. 2.3a). Se han utilizado las hojas E05000110406 y E05000110407, en formato de archivo DGN.
- b) *Cartografías temáticas*. Mapas geológicos publicados sobre la zona de estudio correspondientes al plan de cartografía continua del IGME, así como la cartografía litológica elaborada por el INDUROT.
- c) *Ordenación urbana*. Incluye un plano del PGOU y acceso remoto (WMS) al Catastro.
- d) *Imágenes*. Fotografías tomadas en el marco del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea, PNOA, (Fig. 2.3b) correspondientes a los años 2003, 2007, 2009 y 2011.
- e) *Modelos digitales del terreno*. A partir de la cartografía topográfica indicada, se aisló la información sobre elevaciones (curvas de nivel y puntos acotados). Tras comprobar que la información altitudinal era consistente se construyó un Modelo Digital de Elevaciones con resolución de celdilla de 5 m. Como mapa derivado también se generó un MDT de pendientes (véase Fig. 1.3).

Esta base de datos gráfica con su adecuada georreferenciación ayuda enormemente a la correcta contextualización de los estudios de prospección que incluyen los informes, así como la óptima localización – tanto en planta como en cota (z) – de las prospecciones y puntos de reconocimiento realizados en áreas adyacentes al núcleo urbano.

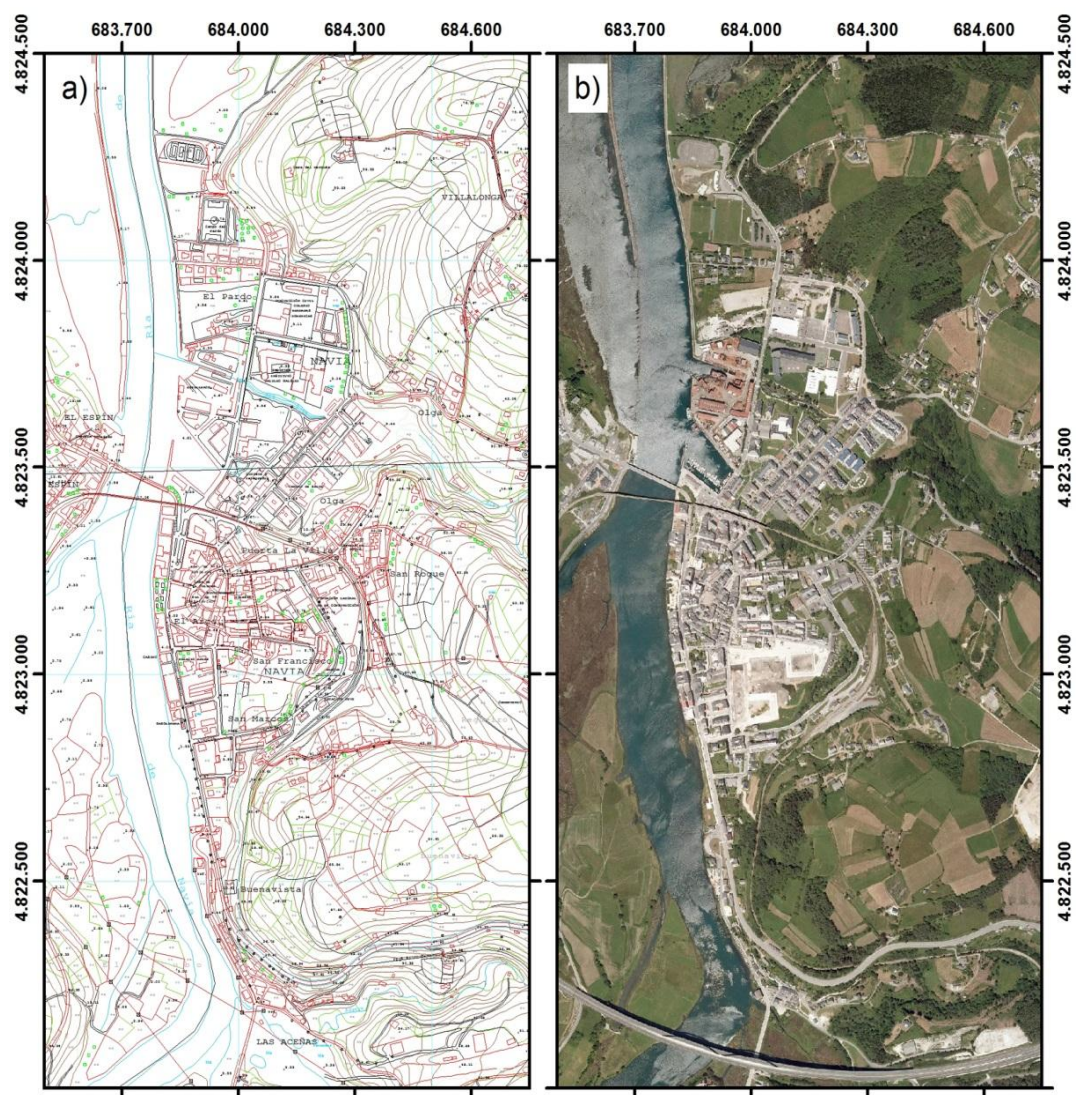


Figura 2.3.- a) Cartografía topográfica; b) Ortofotografía (2009).

2.3.4. Información geológico-geotécnica

Una vez descrito el tratamiento previo a la introducción de los datos en el programa ArcGIS, en este apartado se describe la organización interna que se les aplicara a los datos geológico-geotécnicos derivados de los informes y los puntos de reconocimiento adicionales que se han realizado. Dicha organización muestra el contenido de las tablas no espaciales y las capas geográficas creadas en el apartado de “organización”, junto con la codificación alfanumérica que se les aplica con el fin de poder realizar interrelaciones entre las tablas y las capas creadas en la base de geodatos. Las ventajas de organizar la información con un orden jerárquico determinado son muchas, entre ellas la consulta instantánea de una información determinada y con ello, toda la demás asociada a ella; es decir, si se consulta un sondeo o un ensayo de penetración determinado se puede conocer un amplio rango de información asociada como atributos y, a la inversa, consultando cualquier dato de las tablas no espaciales se puede saber su localización dentro de una capa en la cartografía.

Cada elemento de la base de datos posee un código alfanumérico determinado y exclusivo que evita que se produzcan repeticiones o solapamientos entre los datos. Para poder interrelacionar la información, los datos deben contar con campos comunes de información como podrían ser el tipo de informe, zona, sector, un sondeo en concreto, etc. La primera parte de esta codificación responde a la siguiente organización: *Zona (dos letras), Sector (dos letras), Informe Geotécnico (dos números) y/o Estación (dos letras y dos números)*.

Codificación

El identificador del documento organiza los datos en función del documento al que pertenecen y/o su zona geográfica correspondiente. Esta organización los clasifica a través de zonas y sectores (Fig. 2.4).

ID-DOCUM. (Identificador de documento)

Zonas	Codificación
Norte	ZN
Sur	ZS
Este	ZE
Oeste	ZO
Centro	ZC

Sectores	Codificación
Olga	OL
Granja	GR
Villalonga	VL
Campo de futbol	CF
Ribazo-Rabión	RR
Fornel-Pandín	FP
Aceñas	AC
Cortes	CO
Veigas	VE
Corno	CR
Centro	CE
La Ría	RI

Figura 2.4.- Codificación interna para la identificación del documento.

Además de la organización en sectores y zonas, los documentos también se organizan con el nombre o designación que se les proporciona y el número al que corresponden dentro de cada sector: Debido a la confidencialidad de los estudios, se codifican como Navia (NV) y su número se indica con dos números (01, 02, etc.).

A modo de ejemplificar esta codificación, se supone un informe geotécnico con la siguiente clave alfanumérica: ZNVENV02; esta configuración correspondería a un informe geotécnico situado en la zona norte, en el sector “Veigas” y, concretamente, al estudio geotécnico nº 2.

Una vez que los documentos geotécnicos están organizados, comienza la codificación de los datos que contienen. Estos datos corresponden a información referente a sondeos, penetrómetros, calicatas, SPT en sondeos y ensayos de laboratorio de muestras tomadas en sondeos y calicatas. Tal y como se muestra en la figura inferior (Fig. 2.5), los sondeos, penetrómetros, calicatas, SPT en sondeos y ensayos de laboratorio en sondeos y calicatas se organizan con una letra y dos números:

Identificador	Tipo	Codificación
ID-SONDEO (Identificador de sondeo)	Sondeo	S01, S02...
ID-PENETRO. (Identificador de penetrómetro)	Penetrómetro	P01, P02...
ID-CALICATA (Identificador de calicata)	Calicata	C01, C02...
ID-SPT (Identificador de SPT)	SPT	SPT01, SPT02...
ID-E.LABORAT. (Identificador de ensayo)	E. Laborat.	M01, M02...

Figura 2.5.- Codificación interna para la identificación de los datos en los documentos.

Con todo esto, si deseamos identificar alguno de los elementos anteriores poniendo como ejemplo la codificación del informe geotécnico anterior tendríamos:

- ZN**VEN**V02**S**01 para un sondeo.
- ZN**VEN**V02**P**01 para un penetrómetro.
- ZN**VEN**V02**C**01 para una calicata.
- ZN**VEN**V02**S**01**SPT**01 para un SPT dentro de un sondeo.
- ZN**VEN**V02**S**01**M**01 para una muestra de laboratorio tomada en un sondeo.
- ZN**VEN**V02**C**01**M**01 para una muestra de laboratorio tomada en una calicata.

Como también se han realizado puntos de reconocimiento para identificar unidades geotécnicas en los alrededores de la villa, se ha procedido a codificarlas de la misma manera (Fig. 2.6), dependiendo de la zona y el sector en el que se encuentran. Se codifican también mediante una letra y dos números:

Identificador	Tipo	Codificación
ID-ESTACIÓN (Identificador de estación)	Estación	E01, E02...

Figura 2.6.- Codificación interna para la identificación de puntos de reconocimiento en estaciones.

Como ejemplo para estaciones de observación se tendría: Z**E**CO**E**01 para una estación situada en la zona este y en el sector de “Las Cortes”.

Gracias a toda esta codificación, cada sondeo, penetrómetro, calicata, estación o en general cualquier elemento que se desee identificar, presenta un código alfanumérico

representativo y único que proporciona información de su procedencia, tal y como se puede ver en la Figura 2.7.

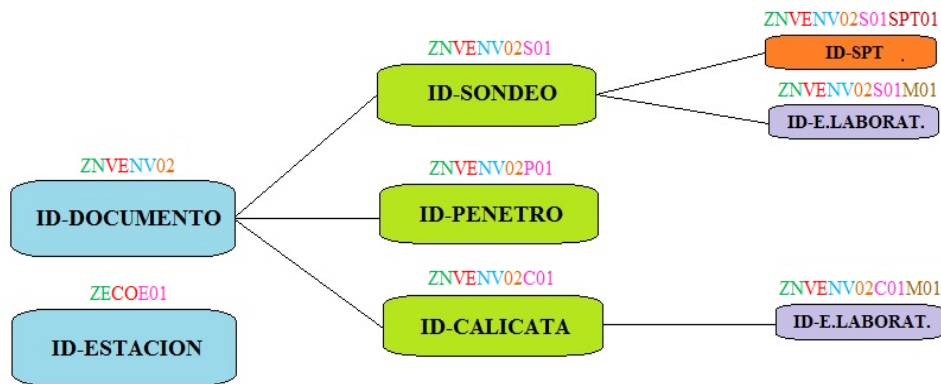


Figura 2.7.- Organización del banco de datos geológico-geotécnico y la relación existente entre sí la información que contiene. Cada grupo de datos presenta un código alfanumérico determinado. El que se muestra en la figura sirve de ejemplo.

Con todo esto, se puede contabilizar un banco de datos geológico-geotécnico (Fig. 2.8) compuesto por 17 informes geotécnicos útiles con sondeos mecánicos repartidos por la villa, en los que se han realizado alrededor de 99 pruebas de penetración estándar (SPT) y se han recogido alrededor de 67 muestras para su ensayo en el laboratorio. Además, se contabilizan también 17 pruebas de penetración tipo “DPSH” que acompañan en el estudio de los materiales a los sondeos mecánicos. Para aumentar el rango de datos, se han realizado 24 puntos de observación sobre suelos y rocas en los límites de la zona de estudio, con el fin de ampliar la cartografía, identificar otros materiales y mejorar la caracterización geológica general. El recuento de codificaciones alfanuméricas generadas asciende a 255, incluyendo ensayos de laboratorio, pruebas SPT, sondeos, informes, etc.

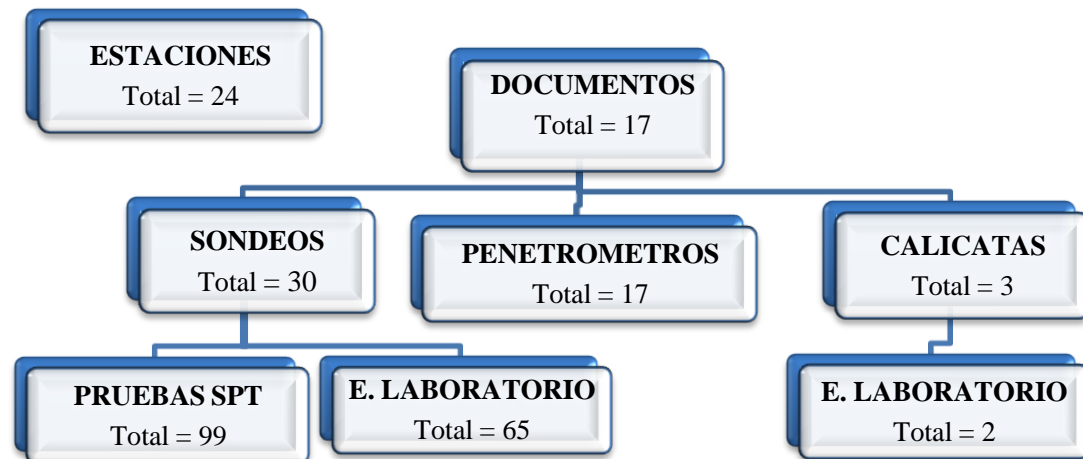


Figura 2.8.- Estructuración de la información y apunte del volumen de pruebas y ensayos existentes en cada categoría.

Una vez descritas las capas y las tablas creadas en ArcGIS, junto con la codificación alfanumérica que le corresponde a cada elemento dentro de las mismas, se pasa a analizar la información que contiene cada archivo creado y su distribución dentro del SIG.

Información general: Documentos

Se trata de información no georreferenciada y sin representación gráfica. Este tipo de información (Tabla 2.1) es asociada a la georreferenciada y con representación gráfica y recogen la información geológica de los documentos o informes geotécnicos analizados. Esta información se organiza de la siguiente manera:

Nº	ID-DOCUM	FECHA	ZONA	SECTOR	CONSULTOR	CLIENTE	TITULO
----	----------	-------	------	--------	-----------	---------	--------

Tabla 2.1.- Información referente a los documentos revisados.

Leyenda: *Nº* = número del informe; *ID-DOCUM* = identificador del documento; *FECHA* = fecha de realización del informe geotécnico; *ZONA* = zona correspondiente; *SECTOR* = sector correspondiente; *CONSULTOR* = consultor; *CLIENTE* = petionario; *TITULO* = nombre identificador del informe.

Prospecciones

Contienen información referente a sondeos, penetrómetros, calicatas, ensayos SPT y ensayos de laboratorio en muestras tomadas en sondeos y calicatas. Los tres primeros archivos constituyen capas geográficas, es decir información georreferenciada con posición geográfica sobre el terreno, mientras que los archivos referentes a SPT y ensayos de laboratorio constituyen información no georreferenciada que se vincula a dichas capas.

Cada archivo de información presenta su propia tabla de atributos, pero debido a que solo varía un campo entre las mismas, las capas de sondeos y calicatas se representan conjuntamente aquí (al igual que para los ensayos de laboratorio en sondeos y calicatas). La Tabla 2.2 que se expone a continuación es la que corresponde a la capa de sondeos. La Figura 2.9 muestra el total de terreno sondeado en el área de estudio y su diversificación en función de los materiales atravesados.

Nº	ID-DOCUM.	ID-SONDEO	X	Y	Z (msnm)	Long. (m)
N.P. (m)	Relleno	Aluvial	Coluvial	Eluvial	Fm. Luarca	Comentarios

Tabla 2.2.- Información referente a sondeos geotécnicos.

Leyenda: *Nº* = número del informe; *ID-DOCUM.* = identificador del documento; *ID-SONDEO* = identificador del sondeo; *X (m)* = coordenada UTM X; *Y (m)* = coordenada UTM Y; *Z (m)* = altura sobre el nivel del mar (m.s.n.m) del sondeo; *Long (m)* = longitud total del sondeo; *N.P (m)* = profundidad del nivel piezométrico; *Relleno (m)* = espesor de relleno atravesado por el sondeo; *Aluvial (m)* = espesor de material aluvial atravesado por el sondeo; *Coluvial (m)* = espesor de material coluvial atravesado por el sondeo; *Eluvial (m)* = espesor de material eluvial

*atravesado por el sondeo; Fm. Luarca (m) = espesor de la Fm. Luarca
atravesado por el sondeo; Comentarios = apreciaciones en el sondeo.*

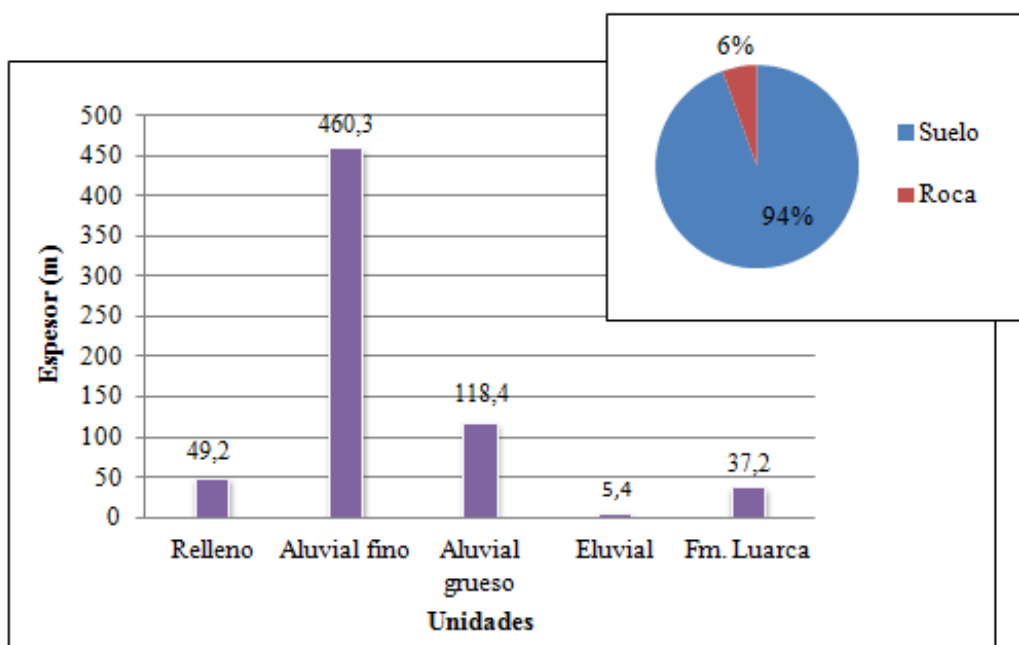


Figura 2.9.- *Espesor total de terreno atravesado para cada material en sondeos mecánicos (eluvial: roca completamente meteorizada bajo sedimentos cuaternarios) junto con porcentaje de suelo/roca atravesado del total de los informes geotécnicos.*

La siguiente tabla de atributos (Tabla 2.3) hace referencia a los ensayos de laboratorio realizados en muestras de sondeos. Incluyen en total (sondeos + calicatas) 67 muestras ensayadas y alrededor de 354 parámetros geotécnicos determinados. La Figura 2.10, expuesta más abajo, indica una relación de la normativa bajo la cual se han llevado a cabo los ensayos de laboratorio realizados.

Nº	ID-DOCUM.	ID-SONDEO	ID-LABORAT.	Prof. (m)	Tipo	Material
W	ρ	ρ_d	Ret. Ac. 200	S _r	W _L	W _P
I.P.	I _c	I _L	M.O	Acidez B-G	SO ₄ ²⁻	Mg ₂ ⁺
NH ₄ ⁺	CO ₂	R.S.	pH	USCS	σ_c	I _s
ϕ	c	Comentarios				

Tabla 2.3.- Información referente a ensayos de laboratorio de muestras tomadas en sondeos.

Leyenda: N^o = número del informe; ID-DOCUM. = identificador del documento; ID-SONDEO = identificador del sondeo; ID-LABORAT. = identificador de ensayo de laboratorio; Prof. = profundidad de extracción de la muestra; Tipo = tipo de muestra extraída (alterada, inalterada, parafinada o SPT); Material = tipo de material ensayado (arenas, arcillas, limos, roca, etc); W (%) = contenido en agua; ρ (g/cm³) = densidad aparente; ρ_d (g/cm³) = densidad seca; Ret. Ac. 200 (%) = porcentaje de la muestra retenido en ese tamiz; S_r (%) = grado de saturación; W_L (%) = límite líquido (N.T.: no tiene; N.D.: no determinado); W_P (%) = límite plástico (N.T.: no tiene; N.D.: no determinado); I.P. (%) = índice de plasticidad (N.P.: no plástico; N.D.: no determinado); I_c (adimensional) = índice de consistencia; I_L (adimensional) = índice de liquidez o fluidez; M.O. (%) = contenido en materia orgánica; Acidez B-G (ml/kg) = acidez Baumann-Gully (agresividad en suelos); SO₄²⁻ (mg/Kg) = contenido en sulfatos; Mg₂⁺ (mg/l) = contenido en magnesio; NH₄⁺ (mg/l) = contenido en amonio; CO₂ (mg/l) = contenido en anhídrido carbónico; R.S. (mg/l) = contenido en residuo seco; pH = pH de la muestra; USCS = Sistema Unificado de Clasificación de Suelos; σ_c (MPa) = resistencia a la compresión simple; I_s (MPa) = resistencia en carga puntual corregida; ϕ (°) = ángulo de rozamiento interno; c (kPa) = cohesión; Comentarios = peculiaridades en la muestra.

ENSAYOS DE LABORATORIO	UNE	AÑO
Prearación de muestras para los ensayos en suelo	103100	1995
Granulometría por tamizado	103101	1995
Granulometría por sedimentación	103102	1995
Determinación del límite líquido W _L (Límites de Atterberg)	103103	1994
Determinación del límite plástico W _p (Límites de Atterberg)	103104	1993
Determinación del contenido en carbonatos en suelos	103200	1993
Determinación del contenido en materia orgánica	103204	1993
Determinación de la densidad de un suelo (balanza hidrostática)	103301	1994
Determinación de la densidad relativa de las partículas sólidas de un suelo	103302	1994
Determinación del contenido en sales solubles en un suelo (cualitativa)	103201	1996
Determinación del contenido en sales solubles en un suelo (cuantitativa)	103202	1995
Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa	103300	1993
Determinación del contenido en CO ₂ agresivo	13577	2008
Determinación del contenido en ión amonio	83954	2008
Determinación del contenido en ión magnesio	83955	2008
Determinación del contenido en ión sulfato	83956	2008
Determinación del residuo seco	83957	2008
Determinación del grado de acidez Baumann-Gully (ml/Kg)	83962	2008
Corte directo en aparato de Casagrande en suelos	103401	1998
Resistencia a la compresión simple en suelos	103400	1993
Resistencia a la compresión simple en rocas	22950-1	1990
Resistencia a la carga puntual en rocas	22950-5	1996

Figura 2.10.- *Tabla representativa mostrando algunos de los ensayos seguidos para la realización de los ensayos de laboratorio según la UNE (Una Norma Española).*

La información referente a los 99 SPT realizados (Tabla 2.4) en sondeos mecánicos y el número total de pruebas SPT realizadas en todos los materiales (Fig. 2.11) se exponen a continuación:

Nº	ID-SONDEO	ID-SPT	Prof. (m)	Material	N _{SPT}	Comentarios
----	-----------	--------	-----------	----------	------------------	-------------

Tabla 2.4.- Información referente a pruebas de penetración estándar (SPT) realizadas en sondeos.

Legenda: N° = número del informe; ID-SONDEO = identificador del sondeo; ID-SPT = identificador de prueba SPT; Prof (m) = profundidad de realización de prueba SPT; Material; material en el que se realiza la prueba SPT; N_{SPT} = suma del número de golpes que han sido necesarios para atravesar los dos tramos de 15 centímetros centrales del ensayo; Comentarios = apreciaciones singulares en las pruebas.

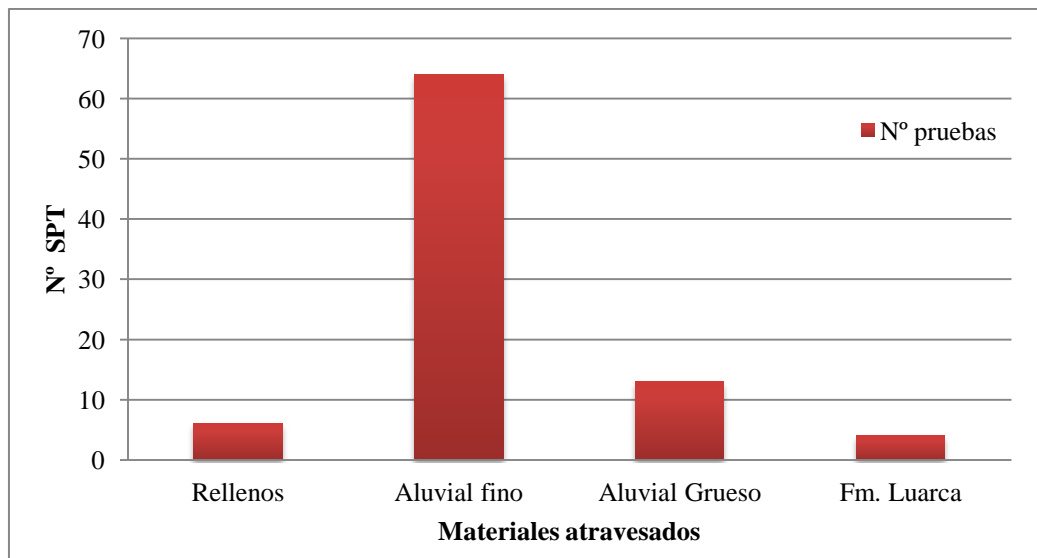


Figura 2.11.- Gráfico mostrando el número de pruebas SPT realizadas en cada material atravesado.

Por último, en la Tabla 2.5 se recogen los datos de los 17 penetrómetros llevados a cabo en la zona de estudio en los informes geotécnicos. En la Figura 2.12, también relacionado con las pruebas penetrométricas, se muestran las profundidades de rechazo alcanzadas en estas pruebas y el número de las mismas en distintos sectores:

Nº	ID-DOCUM.	ID-PENETRO.	X	Y	Z (msnm)	Tipo	P. Rechazo	Comentarios
----	-----------	-------------	---	---	----------	------	------------	-------------

Tabla 2.5.- Información referente a pruebas penetrométricas.

Leyenda: N° = número del informe; ID-DOCUM. = identificador del documento; ID-PENETRO. = identificador del penetrómetro; X (m) = coordenada UTM X; Y (m) = coordenada UTM Y; Z (m) = altura sobre el nivel del mar (m.s.n.m) del penetrómetro; Tipo = tipo de prueba de penetración llevada a cabo (DPL, DPSH, DPH, etc); P. Rechazo (m) = profundidad de rechazo de la prueba de penetración; Comentarios = apreciaciones singulares en las pruebas.

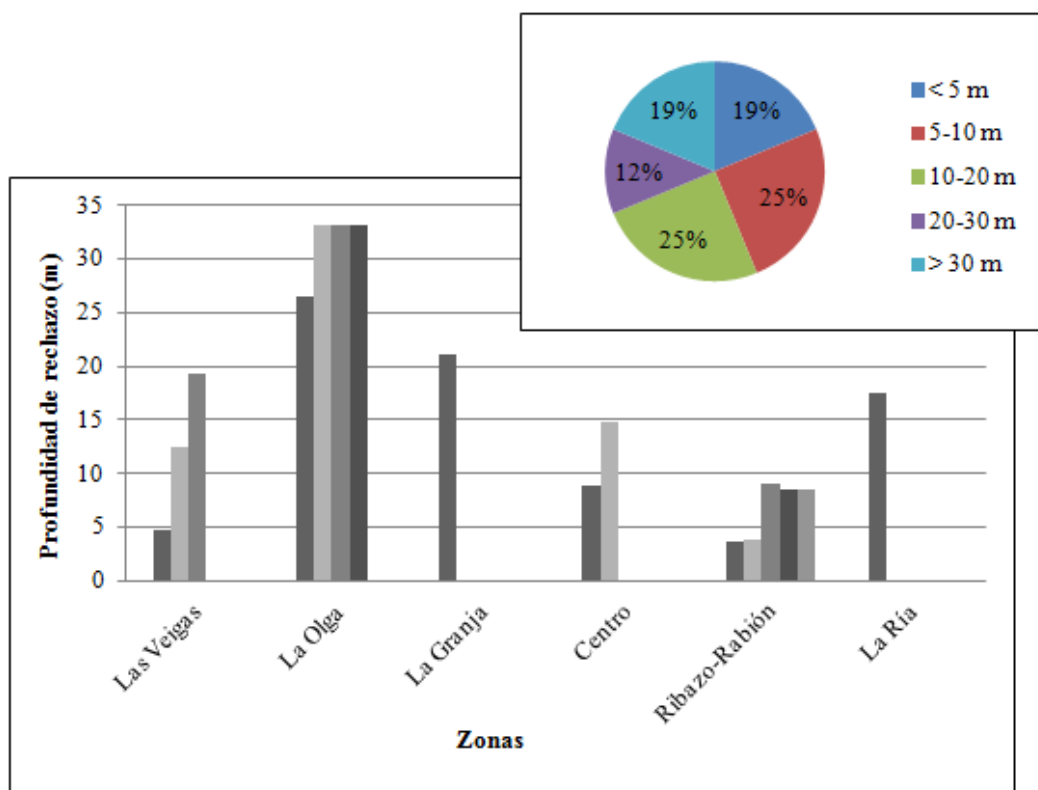


Figura 2.12.- Profundidad de rechazo alcanzada en pruebas de penetración realizadas en distintos sectores del área de estudio. Arriba a la derecha, porcentaje de penetraciones con profundidades (en metros) comprendidas en los intervalos marcados.

Tanto estudios de piezometría como agresividad de aguas o suelos se encuentran recogidos en estas capas y tablas.

Datos de campo

Se agrupan en una única capa (Tabla 2.6) que recoge la información de los 24 puntos de reconocimiento realizados en los alrededores de la villa. Se trata, por tanto, de información georreferenciada; esta información no se vincula con ninguna tabla ya que se trata de datos de campo adicionales anexionados a este trabajo. Al igual que en los archivos anteriores, la información que contiene se recoge en la siguiente tabla:

Nº	ID-ESTACION	X	Y	Z (msnm)	T. Vegetal
Aluvial	Coluvial	Eluvial	Cohesión	Compacidad	Consistencia
Fm. Luarca	Orientación	RMR	Clase macizo	Descripción	ISRM

Tabla 2.6.- Información referente a los datos de campo recogidos en estaciones.

Leyenda: *Nº* = número de la estación; *ID-ESTACION* = identificador de la estación; *X (m)* = coordenada UTM X; *Y (m)* = coordenada UTM Y; *Z (m)* = altura sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) de la estación; *T. Vegetal* = espesor de material vegetal registrado en la estación; *Aluvial (m)* = espesor de material aluvial registrado en la estación; *Coluvial (m)* = espesor de material coluvial registrado en la estación; *Eluvial (m)* = espesor de material eluvial registrado en la estación; *Cohesión* = estudios de determinación cualitativa de cohesión llevados a cabo en campo; *Compacidad* = estudios de determinación cualitativa de compacidad llevados a cabo en campo; *Consistencia* = estudios de determinación cualitativa de consistencia llevados a cabo en campo; *Fm. Luarca (m)* = espesor de la Fm. Luarca registrada en la estación; *Orientación (°)* = orientación de las unidades rocosas identificadas; *RMR* = clasificación RMR del macizo estudiado; *Clase macizo* = tipo de macizo identificado según RMR; *Descripción* = designación del macizo estudiado según el tipo de macizo; *ISRM* = clasificación del tipo de macizo rocoso según la ISRM.

La clasificación RMR o “Rock Mass Rating” creada por el ingeniero polaco Z.T. Bieniawski en 1973 y modificada posteriormente, permite una rápida clasificación “in-situ” de la calidad los macizos rocosos y una estimación temporal del periodo de tiempo que se puede mantener abierto un vano, junto con su longitud aconsejable. El índice de calidad RMR responde a cinco parámetros fundamentales:

- Resistencia a la compresión simple de la roca.
- El índice R.Q.D. (Rock Quality Designation).
- La separación entre las discontinuidades.
- El estado de dichas discontinuidades.
- La presencia de agua.

El índice se obtiene asignando valores al macizo estudiado en función de los parámetros anteriores, siendo más desfavorables cuanto menor sea la resistencia de la roca, la existencia de numerosas discontinuidades o las relaciones entre ellas. Además de estos parámetros, la orientación de las discontinuidades respecto al macizo abierto jugará un papel favorable o desfavorable en su estabilidad, y por tanto en su índice final (González de Vallejo et al., 2002).

Dado que en campo también se realizaron ensayos de cohesión, compacidad y consistencia con la finalidad de determinar cualitativa y superficialmente estas propiedades, a continuación se explicará la metodología seguida para la realización de dichos ensayos.

La cohesión representa el grado de adherencia existente entre las partículas, fundamentalmente en suelos de grano fino. Esta propiedad se evalúa en campo a través de la facilidad de disgregación del material entre los dedos; cuanto menor es la adherencia entre las partículas, menor es la cohesión.

La compacidad es el grado de empaquetamiento que presentan las partículas de un suelo. En campo se evalúa mediante la perforación o penetración del mismo con una estaca o un pico de mano; la resistencia que ofrezca a la penetración será extrapolable al nivel de compactación que presente el sistema.

La consistencia es una propiedad que informa sobre la cohesión y la plasticidad. En campo es determinada mediante el moldeo de una porción de suelo con los dedos. Cuanto mayor es la facilidad para moldear la muestra, menor es la consistencia, clasificándose como muy blanda, blanda, desmenuzable, firme, muy firme y dura según esta característica.

Teniendo en cuenta la información analizada previamente, referente a las prospecciones llevadas a cabo en la zona de estudio junto con los puntos de reconocimiento realizados en áreas adyacentes al núcleo urbano, se indica a

continuación (Fig. 2.13) la situación de la totalidad de las prospecciones realizadas en el área de estudio.

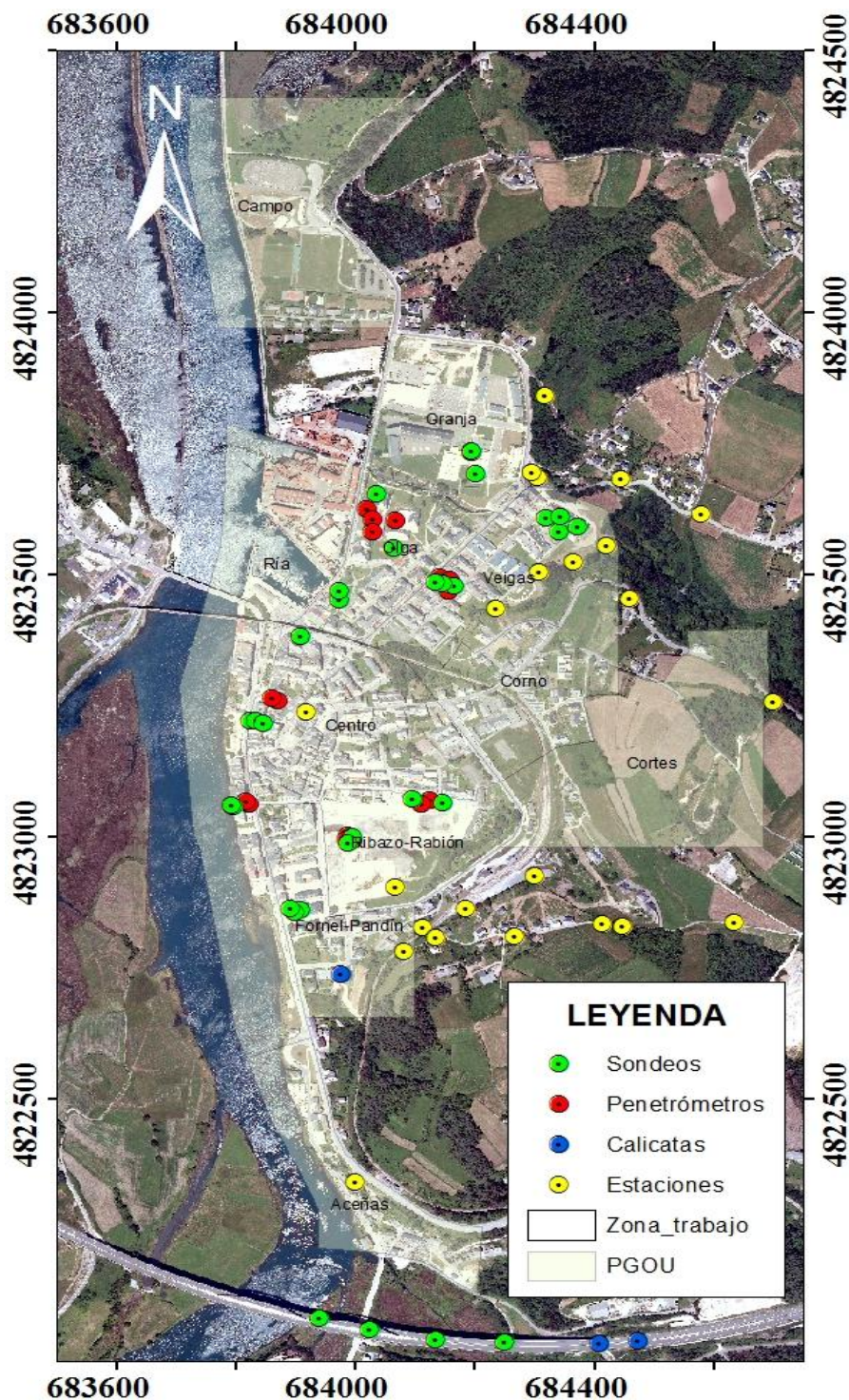


Figura 2.13.- Situación general de las prospecciones realizadas en el área de estudio, junto con las estaciones realizadas en áreas anexas al núcleo urbano. El recuadro negro indica los límites del área de estudio.

Nota del autor: Las estaciones localizadas al sur del sector “Las Cortes” también se incluyen dentro de este sector, ya que aunque no se ha podido contemplar en el mapa, sí pertenecen al mismo. Las estaciones situadas al este del sector “Granja” corresponden al sector “Villalonga”, que tampoco se contempla en el mapa.

Relaciones entre tablas y capas

Por último se realiza una breve explicación de los pasos seguidos para vincular las capas geográficas y tablas no espaciales asociadas a dichas capas a través de la codificación alfanumérica que tienen en común. La finalidad de este procesamiento es que al identificar un elemento en la cartografía, aparte de la propia tabla de atributos que contenga el archivo, se muestre también toda la información relacionada con este; un ejemplo de esto sería seleccionar un sondeo y poder ver el informe al que pertenece y la información relacionada con las pruebas SPT o los ensayos de laboratorio llevados a cabo en ese sondeo.

Se han realizado seis vinculaciones (Fig. 2.14), realizadas en ArcMap, mediante el comando “*relates*”. Las tres primeras vinculan la tabla de “Documentos” con las capas de sondeos, penetrómetros y calicatas a través del campo común ID-DOCUMENTO. Las dos siguientes vinculan la capa de sondeos con las tablas de las pruebas SPT y los ensayos de laboratorio de muestras recogidas en sondeos a través del campo común ID-SONDEO. Por último, se establece una vinculación entre la capa de calicatas y las tablas de ensayos de laboratorio en muestras recogidas en calicatas a través del campo común ID-CALICATA. Se podría realizar una séptima vinculación entre la capa de pruebas SPT y la tabla de ensayos de laboratorio en muestras recogidas en pruebas SPT, pero esta tabla no ha sido creada, ya que las muestras recogidas en pruebas SPT se recogen en la tabla de ensayos de laboratorio en muestras recogidas en sondeos.

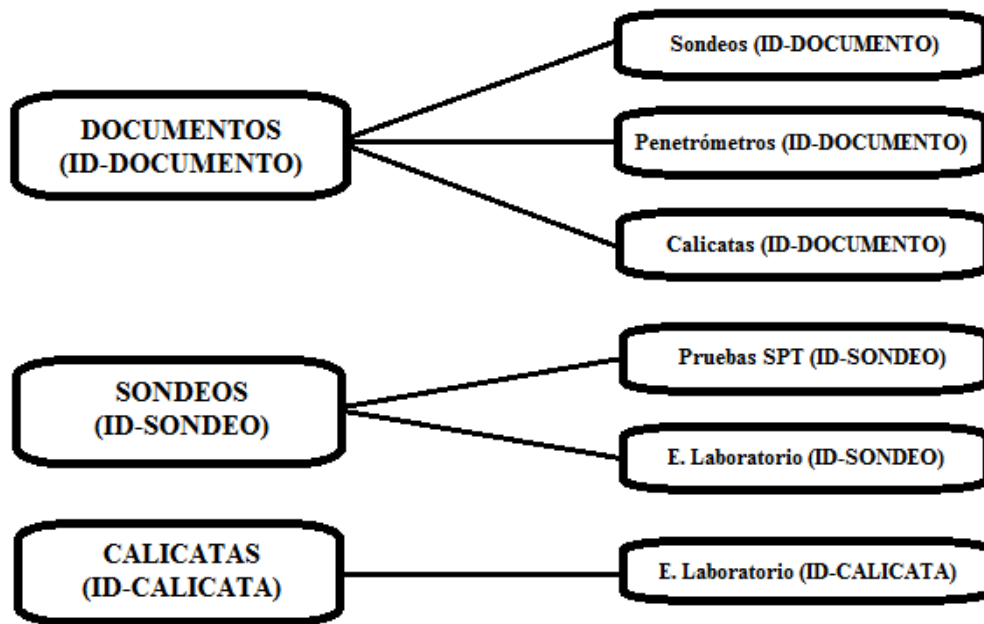


Figura 2.14.- Esquema de las vinculaciones realizadas entre tablas y archivos gráficos, mostrando entre paréntesis el campo por el que son vinculadas.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A lo largo de este capítulo se abarcan los resultados obtenidos durante la realización de este trabajo. Dichos resultados se ilustran como un conjunto de ideas extraídas de los documentos analizados y las jornadas de campo realizadas, para posteriormente integrar la información en una plataforma SIG y analizar eficientemente los datos.

Mediante el análisis de los registros de los sondeos en la documentación geotécnica, se establecen una serie de formaciones ligeramente distintas en los depósitos cuaternarios sobre los que se asienta Navia, entre el norte y el sur de la misma. Tras los trabajos de campo realizados a lo largo de dicho trabajo, se ha revisado la naturaleza y configuración de las formaciones superficiales identificadas en los alrededores del núcleo urbano.

A través del tratamiento estadístico y análisis de los parámetros geotécnicos obtenidos en los informes geotécnicos, se evalúan diferentes propiedades geotécnicas de los materiales del subsuelo urbano, tanto cualitativa como cuantitativamente. Estas propiedades geotécnicas se intentan también aproximar en algunas formaciones superficiales de mayor importancia en el extrarradio urbano, pero únicamente con un carácter cualitativo.

Ya para terminar, se dedicará un apartado referente a las aportaciones cartográficas que las jornadas de campo permitieron establecer y otro encaminado hacia las recomendaciones constructivas y de cimentación sobre los materiales aquí presentes, ya que se dan situaciones bastante similares sobre todos los terrenos edificados.

Finalmente, tras el análisis e interpretación de todos los datos que comprende este trabajo, se presenta una cartografía geológico-geotécnica del subsuelo de Navia y los alrededores del núcleo urbano de mayor detalle (1:5.000) que los publicados hasta ahora, adjunta como anexo I. Además, esta cartografía se complementa mediante dos cortes geológicos con escala vertical realizada a 1:1.000 que recogen lo más aproximadamente la disposición de los materiales del subsuelo de Navia, indicados como anexo II, amén de los estadillos RMR realizados en campo en afloramientos rocosos (anexo III).

Al comienzo de este trabajo cabe recordar que no existía ningún trabajo que hubiese abordado con tanta profundidad las características geológicas de la villa, así como su interpretación geotécnica o la digitalización de la información disponible.

3.1. UNIDADES DEL SUBSUELO

Como se ha mencionado anteriormente, Navia se asienta sobre diferentes materiales, tanto paleozoicos como cuaternarios. Estos materiales cuaternarios consisten en depósitos de origen fluvial y mareal sedimentados por la Ría, que se encuentran separados por un promontorio de roca que genera ciertas diferencias al norte y sur del mismo. También, en los alrededores del núcleo urbano, existen otras formaciones con un origen muy específico o generadas principalmente por desestabilización de las laderas actuales.

Los estudios realizados en los alrededores al núcleo urbano, se han hecho con la intención de ampliar la información disponible sobre la villa y establecer aproximaciones sobre el carácter geotécnico de estas formaciones. Para ello, además de identificar las formaciones, se establecieron estaciones o puntos de reconocimiento donde los afloramientos lo permitieron, con el fin de identificar espesores de formaciones, determinaciones de campo de cohesión, compacidad y consistencia de los materiales o la toma de buzamientos y cálculos de RMR a efectos geotécnicos, en el caso de tratarse de afloramientos rocosos. Las estaciones y los resultados de los trabajos de campo se encuentran recogidos en tablas e incorporados al programa de representación digital de los resultados (ArcGIS) como capas de información georeferenciada.

A continuación se indican las descripciones de los materiales identificados en el interior y exterior del núcleo urbano, analizados lo más aproximadamente posible. En el mapa geológico adjunto (anexo I) puede observarse la disposición de estos materiales.

3.1.1. Formaciones superficiales

Engloban todas las unidades cuaternarias que recubren el sustrato rocoso en el área de estudio, identificadas mediante la información contenida y las jornadas de campo llevadas a cabo. Se distinguen las siguientes:

Rellenos antrópicos (Q_{RA})

Constituyen el material de recubrimiento de los sedimentos de la ría sobre la llanura y algunas zonas sobre las laderas, alejadas de la misma. Se identifican como una mezcla antrópica de tierra vegetal, arenas (en ocasiones limosas), arcillas y zahorras cuarcíticas pudiendo contener en ocasiones bloques rocosos aislados de gran tamaño o restos de escombros. Los colores de la mezcla van de negros a marrones y beige. El espesor de estos niveles es muy variado, situándose la media aproximadamente en 1,5 metros. En ocasiones existen espesores de hasta 5 metros recubriendo zonas próximas a la ría.

Coluviones (Q_{co})

Materiales consistentes en cantos heterométricos formados por fragmentos de cuarcita redondeados-subredondeados de entre 3 y 10 centímetros y algunos clastos de pequeño tamaño de pizarras (Fig. 3.1). Los cantos están embebidos en una matriz homogénea de aspecto arcilloso con materia orgánica, procedente de la incorporación en su transcurso ladera abajo y alteración del sustrato rocoso, que muestra una textura matriz-soportada en la que los cantos no llegan a tocarse. Presentan una amplia extensión, presentándose la mayor parte de las laderas cubiertas por estos materiales. En ocasiones aparecen sobre el sustrato rocoso, el cual es visible, pero en otras no aflora y aparecen solo estos depósitos cubiertos por una cobertera vegetal de poco espesor. El espesor cartografiado de estos materiales es variado y depende de la zona, pero no supera los 2 metros en afloramiento.



Figura 3.1.- Afloramiento en corte del coluvión arcilloso en una carretera local por detrás de la estación de tren, en el sector de “Las Cortes”.

Eluvial (Q_{EL})

Se trata de una serie de horizontes que se sitúan entre el sustrato rocoso subyacente, correspondiente a las Pizarras de Luarca, y los sedimentos de ría cuaternarios tratados en este trabajo. Proceden de la alteración “in situ” del sustrato rocoso. Son de carácter arcilloso e incluyen restos fragmentados de pizarras, observándose como un material de aspecto conglomerático con una matriz oscura arcillosa. La testificación de los sondeos disponibles ha permitido identificar varios de estos niveles, fundamentalmente en los sectores “Ría”, “Centro” y “Ribazo-Rabión” con espesores comprendidos entre 0,3 y 1 metros generalmente, aunque existen espesores mínimos de 0,25 metros y espesores máximos que alcanzan los 2,3 metros (Fig. 3.9). También se reconocen estos niveles de alteración en alguna zona de la parte norte de la villa, coincidiendo con el sector “Veigas” y por debajo de materiales fluviales de terraza en algunos afloramientos en taludes (Fig. 3.2).



Figura 3.2.- *Horizonte de alteración entremezclado con los sedimentos de terraza que se sitúan por encima del mismo, en un afloramiento en la carretera nacional N-634.*

Depósitos fluviales y marinos (Q_{FM})

Dentro de este grupo se engloban los depósitos en cuya génesis han intervenido procesos fluviales, mareales, litorales o un compendio de los mismos. Se agrupan de la siguiente manera:

Sedimentos de ría

Se trata de sedimentos depositados por la acción de la Ría de Navia sobre el valle fluvial, así como variaciones en el nivel de base de la misma o variaciones en la carga de sedimentos transportados. Se diferencian dos tipos:

- Terrazas fluviales (Q_{FM-T}): materiales conglomeráticos de cantos monomíticos cuarcíticos redondeados-subredondeados de tamaños muy variados (heterométricos) que oscilan entre 5 y 15 centímetros, aunque no se descartan tamaños mayores. La matriz que los contiene es areno-limosa, marrón-anaranjada y con fragmentos de cuarcita de pequeño tamaño (microconglomerática en algunas zonas). Los cantos están en contacto entre sí (textura grano-soportada en general) y muchos de ellos presentan orientación de flujo con dirección N10° E-N25° E que indica un claro origen fluvial.

Se disponen en las laderas adyacentes al Río Navia, principalmente sobre el sustrato rocoso, y en el propio pueblo (Fig. 3.3), sedimentados por la acción fluvial en un momento en el que el nivel del mar era más elevado que el actual. Se han identificado espesores máximos de 2,5 metros.



Figura 3.3.- Afloramiento en corte de una terraza fluvial en la villa de Navia (estación de autobuses).

- Depósitos de la llanura (Q_{FM-LL}): sedimentos depositados por la ría sobre la llanura a través de procesos fluvio-mareales. La estratigrafía general interpretada mediante sondeos que se puede reconocer a “grosso modo” es, de muro a techo, un aluvial grueso (bolos y gravas sobre matriz) y un aluvial fino (arenas limosas, limos y arcillas). Las arenas, por granulometría, deberían incluirse dentro del aluvial grueso, pero más adelante se verá que la mayor parte de las muestras de tamaño de grano inferior a 2 milímetros se clasifican como suelos de grano fino en la USCS (Unified Soil Classification System) y en la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) por lo que se incluyen dentro del aluvial fino. A continuación se indica la descripción de estos materiales lo más aproximada posible:

a) *Aluvial fino*: Es bastante uniforme en cuanto a composición y fundamentalmente varían los espesores, los cuales dependen de la zona; se resume de la siguiente manera: se compone de arenas silíceas de grano fino a medio, mal graduadas y poco compactas con cantidades variables de limo y arcilla que les confieren una tonalidad negruzca o marrón. Hasta los 4 metros de profundidad suelen presentar restos vegetales. A mayor profundidad (a partir de unos 8 metros, generalmente) incorporan algunos niveles de gravas aisladas y comienzan a aparecer restos de conchas de bivalvos, fragmentos de madera y un aumento del contenido en materia orgánica, adquiriendo colores más oscuros. En la parte norte, fundamentalmente, estas arenas se encuentran recubiertas por niveles de limos arenosos y arcillas limosas que le confieren un carácter granulométricamente más fino que en el resto de la población, mientras que en el sur estos depósitos se intercalan con el aluvial grueso y la proporción de finos es ligeramente inferior. El espesor de este aluvial es increíblemente elevado; comienza inmediatamente por debajo del relleno, a profundidad dependiente del espesor de este y alcanza espesores de entre 10 y 20 metros en gran parte del área de estudio, llegando en la parte norte a espesores de más de 30 metros en ocasiones, apareciendo con importantes niveles de limos y arcillas. En zonas alejadas del río los materiales se adelgazan bastante, dándose espesores no superiores a los 12 metros.

b) *Aluvial grueso*: Está formado por gravas y bolos de naturaleza principalmente cuarcítica y morfología redondeada a subredondeada con una distribución de tamaños muy variada de entre 1 y 10 centímetros. Estos cantos están embebidos en una matriz areno-limosa o areno-arcillosa compacta de color beige, que le confiere al material una textura clasto-soportada a matriz-soportada. Generalmente se encuentra por debajo del aluvial fino a profundidades muy variadas dependientes del espesor suprayacente; en la parte norte aparece por debajo de los 45

metros en algunos puntos, mientras que en el resto del área lo hace a profundidades comprendidas entre 10-15 metros o incluso en el sur a partir de 5-6 metros debido a la intercalación con el aluvial fino y el menor espesor del mismo en zonas alejadas del río. Los espesores generales de estos materiales rondan los 6-12 metros, exceptuando la zona norte, donde no se puede determinar ya que los sondeos no llegan a cortar su base pero se intuyen, según los sondeos, superiores a 20 metros. En zonas alejadas del río y zonas próximas al casco antiguo de Navia los espesores se encuentran por debajo de 5 metros.

Sedimentos de 'rasa' (Q_{FM-R})

Se constituyen de materiales conglomeráticos, heterogéneos tanto en aspecto como en propiedades geotécnicas. Los cantos son fundamentalmente de cuarcita y arenisca, fuertemente redondeados y fragmentados muchos de ellos, con una distribución irregular y mayor que en los depósitos de terraza, con tamaños muy variados que van desde los 3-5 hasta 15 centímetros en algunos casos (Fig. 3.4). La matriz, con texturas grano a matriz-soportada, es limosa y con colores anaranjados o amarillentos, microconglomerática en algunas zonas. Se sitúan en superficies planas elevadas que constituyeron plataformas de abrasión marina en el pasado y que se han formado por acción de procesos litorales; alcanzan espesores mínimos de 1,5 metros. Se distingue bien de los depósitos de terraza fundamentalmente por la ausencia de orientación de los cantos y la posición geográfica de los depósitos.



Figura 3.4.- Materiales sobre la “rasa” costera en un corte para el emplazamiento de una edificación en la aldea de Andrés (Navia).

Sedimentos de arroyos (Q_{FM-A})

Depósitos formados por la acción fluvial y constituidos por cantos heterométricos embebidos en una matriz areno-limosa o areno-arcillosa con abundante materia orgánica (Fig. 3.5). Los cantos son de gran tamaño (10-25 centímetros), matriz-soportados y constituidos generalmente por cuarcita, aunque también presentan restos pizarrosos. Se trata de depósitos muy escasos, restringidos a unas zonas en concreto (arroyos y torrentes antiguos) y no son de fácil distinción cuando se encuentran cerca de materiales depositados por gravedad (coluviones), intuyéndose los mismos por topografía y situación (zonas de vaguada). Sus espesores no pueden ser estimados con seguridad, pero pueden rondar los 2-4 metros en función de la potencia de los arroyos.



Figura 3.5.- *Sedimentos fluviales provenientes de un antiguo arroyo, ahora torrente, en el sector de “Las Cortes” (estación de tren).*

3.1.2. Sustrato rocoso (O_{PL})

Corresponde a la formación Pizarras de Luarca (Ordovícico medio-superior). Se trata de un basamento Paleozoico plegado y deformado que constituye el material rocoso sobre el que se depositan las formaciones superficiales. Se compone de pizarras negras, lustrosas, con nódulos de pirita y manchas de hierro. Se encuentra bastante fracturado y con buzamientos generalmente verticales (Fig. 3.6); en las jornadas de campo se han podido medir orientaciones generales de rumbo N40°E-N70°E y buzamientos del orden de 80°-85°SE, que en ocasiones llegan a invertirse y buzarse hacia el NO. Además de estas observaciones, se han identificado signos de alteración superficial, meteorización física y biológica, manchas de humedad y varios sistemas de fracturas. Generalmente se encuentra alterado a grado II-III (ISRM, 1981) tanto en

profundidad como en los taludes que confinan el valle, donde las alturas de los estudiados no superan los 8 metros en ningún caso. Dependiendo del espesor de los materiales suprayacentes, aparece a profundidades bastante variadas en el núcleo urbano, que rondan los 20-30 metros aunque en algunas zonas alejadas del río se alcanza a los 8-10 metros al igual que en el casco antiguo, donde llegan a aparecer en superficie. En la zona norte no se llega a cortar en ningún punto lo que parece indicar, según la longitud de los sondeos, que se encuentra a más de 50 metros de profundidad.



Figura 3.6.- Aspecto general del sustrato rocoso en un afloramiento en el sector “Villalonga”, en la carretera NV-2 (Navia-Puerto de Vega).

3.2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Para una correcta caracterización geotécnica de los materiales, es necesario aclarar primeramente el concepto de unidad geotécnica, la cual se define como un conjunto de materiales que presentan un comportamiento geotécnico similar, lo que también indica un grado de uniformidad física entre las partículas o agregados minerales que componen los materiales.

En geotecnia, la distinción entre un suelo y una roca se realiza por medio de dos consideraciones: el estado de agregación de las partículas minerales y el comportamiento mecánico de las mismas. En ingeniería, un suelo se define como un conjunto de agregados minerales unidos por fuerzas débiles de contacto, que son separables por medios mecánicos de poca intensidad (Terzaghi y Peck, 1971). Las rocas se definen como agregados naturales, duros y compactos de minerales con fuerzas de unión cohesivas permanentes y que habitualmente se consideran como un sistema continuo. En cuanto a las barreras mecánicas, se adopta el umbral de 1 MPa de resistencia a compresión simple para dictaminar si el material ensayado se trata de suelo o roca; así como también el grado de alteración del material, el cual debe ser igual o superior a grado IV para que sea considerado suelo (ISRM, 1981).

Los documentos analizados en este trabajo disponen de información descriptiva bastante concisa (en algunos casos más extensa que en otros) en lo que se refiere a los sondeos y la testificación en general, junto con imágenes en blanco y negro y a color de los testigos recuperados. Además, la abundancia de curvas granulométricas y ensayos de plasticidad ayuda a la caracterización geotécnica. A diferencia de lo anterior, no es posible disponer de fotografías de las muestras tomadas en los ensayos de campo, aunque por documentación se sabe que todas las muestras de suelo recogidas son inalteradas, al igual que las muestras de roca (que en algún caso se encuentran parafinadas).

Para realizar este análisis geotécnico, se llevó a cabo un tratamiento específico de las propiedades geotécnicas de cada formación superficial preestablecida (granulometrías, plasticidad, resistencia, densidades, etc.) mediante un tratamiento estadístico de los parámetros geotécnicos obtenidos en los ensayos de laboratorio. Las propiedades geotécnicas de las formaciones identificadas en campo se trataron cualitativamente, en el caso de no disponer de ciertos ensayos sobre ellas, o cuantitativamente en caso contrario.

A continuación se indica la caracterización geotécnica para las diferentes unidades del subsuelo presentes en Navia, comenzando por las formaciones superficiales hasta llegar al sustrato rocoso.

3.2.1. Formaciones superficiales

Corresponden a las diferentes unidades del Cuaternario que recubren el sustrato ordovícico y conforman el subsuelo de la población navega y sus alrededores.

Rellenos antrópicos (Q_{RA})

Se trata de materiales muy heterogéneos en cuanto a naturaleza, composición, origen y propiedades. En ocasiones, este tipo de materiales se vierte sin ningún tipo de control en lo que se refiere a compactación, por lo que sus propiedades geotécnicas suelen ser deficientes entre tanto, presentando altas permeabilidades o fenómenos de colapsabilidad en casos extremos.

No existen una amplia variedad de ensayos de laboratorio sobre estos materiales ya que carecen de interés a efectos de cimentaciones, y por tanto no se estudian; además los ensayos se limitan a humedad, límites de Atterberg, granulometría y su clasificación según la USCS y la AASHTO, no representados todos ellos en las muestras recogidas en sondeos, por lo que sus parámetros geotécnicos no pueden contrastarse entre sí; es decir, existe un déficit de trabajo sobre ellos en general.

Las muestras de rellenos antrópicos recogidas en los documentos corresponden al sector “Veigas” y al sector “Ría”.

La muestra del sector “Veigas” fue recogida mediante un ensayo SPT a una profundidad comprendida entre 1,5 y 2 metros. Presenta un porcentaje muy elevado de humedad que alcanza el 45,20 %, ya que el nivel freático en el sondeo del que fue extraída se encontraba ligeramente por debajo de ese nivel. Los límites de Atterberg realizados para esta muestra resultan inconcluyentes, por lo que se asume que no presenta límites líquido ni plástico y por tanto, no presenta plasticidad. La granulometría disponible permite clasificar el suelo, según su contenido en finos y tamaño de grano, como un suelo tipo ML según la USCS denominados como limos inorgánicos ligeramente plásticos o sin plasticidad, o como un suelo tipo A-4 según la AASHTO denominados suelos limosos no plásticos o moderadamente plásticos.

La muestra recogida en el sector “Ría” se extrajo de un testigo de sondeo a 1,5 metros de profundidad. A diferencia de la anterior, no presenta ensayo de contenido en humedad, pero si tiene límites de Atterberg presentando un límite líquido de 41,30 %, límite plástico de 33,20 %, situándose el índice de plasticidad en 8,1 %, indicando un rango de plasticidad baja; es decir, el suelo cambia rápidamente de estado plástico a líquido al añadirle agua. Las determinaciones de la granulometría indican un suelo tipo GM o suelo mezcla de grava, arena y limo (USCS), o A-1-a o suelos con predominio de gravas con finos bien graduados (AASHTO).

En la Figura 3.7 puede observarse la heterogeneidad de estos materiales, reflejándose la variación de la resistencia “in situ” N_{SPT} con la profundidad. No existe

un amplio rango de valores, pero si los suficientes como para comparar que a profundidades muy parecidas los golpes necesarios para penetrar los 30 centímetros que exige el ensayo difieren bastante entre sí. También se puede observar el caso contrario, es decir, a profundidades diferentes se obtienen valores N_{SPT} muy parecidos. Estos resultados evidencian las diferencias de compactación entre unos rellenos y otros, y también la heterogeneidad en su composición, pudiendo presentar cantos y gravas que provoquen falsos rechazos durante la realización de los ensayos.

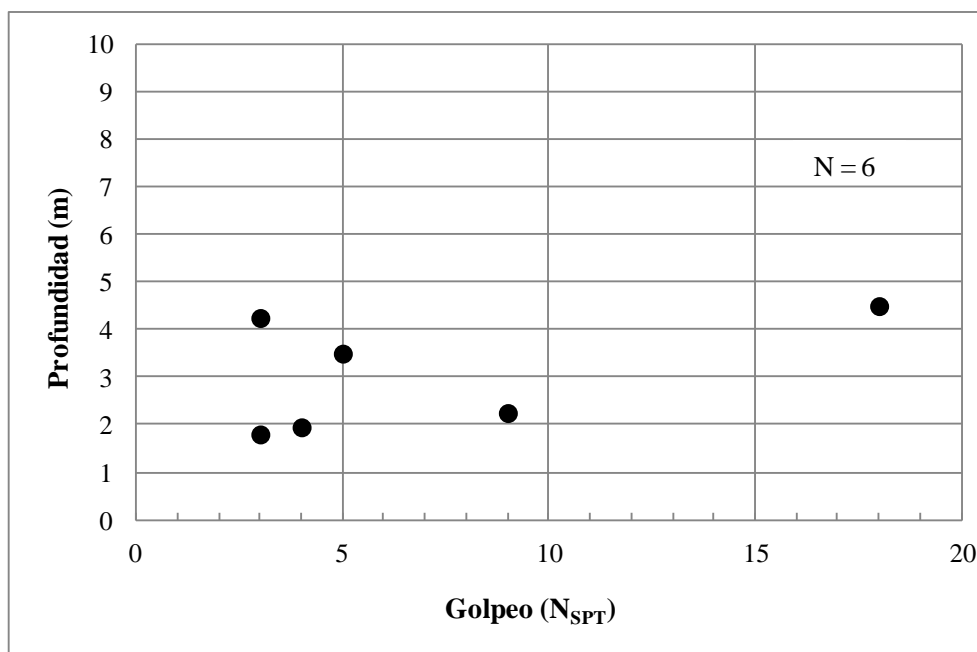


Figura 3.7.- Representación de los resultados de los ensayos de penetración estándar (SPT) realizados en la unidad de rellenos antrópicos.

Coluviones (Q_{CO})

Como se ha dicho, se trata de materiales de aspecto conglomerático, matriz-soportados, conteniendo cantos redondeados-subredondeados, principalmente cuarcíticos, dentro de una matriz arcillosa; si bien esta matriz varía de unas zonas en función de la actividad antrópica: en zonas próximas a fincas o bajo cultivos, estos coluviones presentan déficit de cantos ya que son extraídos por los agricultores para realizar sus actividades, produciendo un aumento de la cantidad de materia orgánica presente y modificando la matriz en general, haciendo también difícil el reconocimiento de esta unidad en algunas zonas con déficit excesivo de cantos. En zonas que no han sido modificadas por agricultura, estos materiales se reconocen fácilmente por la abundancia de cantos (Fig. 3.8).

En el campo se realizaron exámenes de cohesión, compacidad y consistencia de estos materiales con el fin de aproximarse a su caracterización geotécnica. En general, las cohesiones determinadas para zonas donde la actividad humana ha dejado huella son principalmente bajas, posiblemente por el retrabajamiento sucesivo del suelo, abundancia de vegetación y/o incorporación de materia orgánica sin compactar al mismo. En zonas vírgenes o zonas no muy frondosas, la cohesión puede alcanzar valores medios.

La compacidad en general sigue una tendencia similar a la cohesión; en zonas con retrabajamiento del suelo, fundamentalmente, la compacidad es menor, mostrando un bajo empaquetamiento de las partículas, mientras que en zonas inherentes el empaquetamiento es mayor y se puede considerar a la compacidad como media; en zonas donde la compacidad se clasificó como media, la barra utilizada para determinar esta propiedad sufrió rechazos al penetrar debido a la abundancia de cantos, mientras que en otras zonas no necesito un gran esfuerzo para penetrar.

La consistencia general observada es blanda a muy blanda, ya que la cohesión no es muy elevada y la plasticidad, aunque no se han realizado estudios sobre ella, no parece destacar. Las muestras que se pueden tomar en afloramiento no resultan difíciles de moldear y no se adhieren fácilmente a la mano. Al igual que las propiedades anteriores, esta sigue una trayectoria similar en cuanto a la tipología de terreno.

En la Tabla 3.1 pueden visualizarse algunos parámetros aproximados referidos a la compacidad y la consistencia de materiales cohesivos. Se tratan de valores generales y se indican dados los resultados de compacidad y consistencia observados en campo.



Figura 3.8.- *Distintas apreciaciones de la matriz en función de las variables descritas en dos afloramientos de coluvión en el sector de “Las Cortes”.*

La coloración del material es generalmente marrón a marrón oscuro, con colores rojizos en algunas zonas posiblemente por el lavado de ciertos elementos, contenido en humedad apreciable y cantidades variables de materia orgánica.

En cuanto a inestabilidades del material, no se observan desprendimientos importantes recientes ni antiguos en afloramientos, ni existen cicatrices en los taludes o fenómenos de “creeping” en las laderas. Tan solo se observan algunos desprendimientos menores en la zona de la estación de tren y en áreas próximas a esta ya que la compacidad media-baja general y los afloramientos en corte vertical o ligeramente inclinados benefician estos procesos.

El análisis de los parámetros anteriores da a entender una escasa capacidad portante en estos materiales, con resistencias a la compresión muy inferiores a 1 MPa y valores de N_{SPT} seguramente inferior a 2 (Tabla 3.1).

Compacidad	Muy suelto/flojo	Suelto/flojo	Medio	Denso	Muy denso	
N_{spt}	≤ 4	5-10	11-30	31-50	≥ 50	
TERRENOS COHESIVOS						
Consistencia	Muy blando	Blando	Medio	Firme	Muy firme	Duro
N_{spt}	≤ 2	3-4	5-8	9-15	16-30	≥ 30
RCS (kp/cm^2)	$< 0,25$	0,25-0,50	0,50-1	1-2	2-4	> 4
Cohesión (kp/cm^2)	$< 0,125$	0,125 – 0,25	0,25 – 0,5	0,5 – 1	1 – 2	> 2

Tabla 3.1.- Algunos valores de compacidad y consistencia en suelos cohesivos en función de parámetros como la cohesión o resistencia a la compresión simple.

Eluviales (Q_{EL})

El contacto del sustrato rocoso con los materiales fluvio-marinos de la ría de Navia produce una alteración a grado IV-V (ISRM) generando una mezcla de fragmentos de pizarra y arcilla que se comporta como un suelo, pudiendo ser ensayada en el laboratorio como tal. Dicha alteración viene marcada por el contacto entre la formación rocosa y los materiales permeables que se sitúan por encima, tal como se ha interpretado en trabajo anteriores (Gutiérrez Claverol et al., 2008). Aunque se observa en algunos taludes, se localiza a diferentes profundidades en función de la profundidad del sustrato rocoso en el subsuelo, o lo que es lo mismo, en función del espesor aluvial suprayacente; tal como se puede ver en la Figura 3.9, no existe una relación directa entre la distribución de los espesores de estos materiales y dicho espesor de materiales aluviales.

Los ensayos de laboratorio disponibles sobre estos materiales indican humedades naturales del 30,7 % y densidad seca de $1,57 \text{ g/cm}^3$. Los intervalos de granulometrías son muy variados, quedando estos materiales clasificados como suelos tipo GM/GP/CL según la SUCS o suelos A-2-4/A-4 según la AASHTO. Además los límites líquidos no superan el 51 % y los índices de plasticidad se encuentran en un rango de entre 0 y 17 %, considerándose plasticidad nula a baja. En estos materiales el contenido en materia orgánica se encuentra en intervalos de entre 0,4 %-4,4 %.

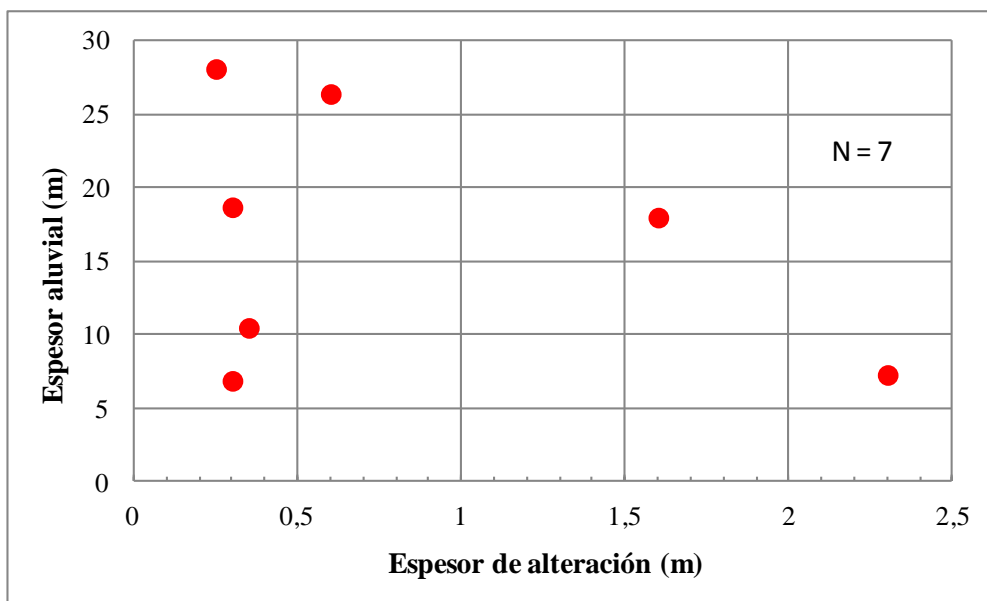


Figura 3.9.- Distintos espesores de niveles de alteración identificados en los sondeos geotécnicos y su variación con el espesor aluvial suprayacente.

Terrazas fluviales (Q_{FM-T})

Localizados en las laderas, sobre estos materiales (Fig. 3.10), además de realizarse estudios de campo (cohesión, compacidad y consistencia) se dispone también de otros estudios específicos de laboratorio que caracterizan con mayor profundidad el material en general y la matriz que contiene los cantos.

La cohesión del presenta resultados generalmente bajos por lo que su clasificación es de carácter bajo debido fundamentalmente a su contenido en arenas; en muestra de mano se disgrega entre los dedos y se observan algunos granos.

La compacidad en general puede considerarse como media tras los ensayos llevados a cabo en los afloramientos, sufriendo rechazos debido a la abundancia de cantos.

La consistencia se interpreta también como blanda a muy blanda debido al contenido en arenas y a la ausencia de plasticidad en las mismas.

No se observan desprendimientos de los mismos en el fondo de taludes ya que la compacidad hace que no se desprendan fácilmente.

Los estudios mencionados sobre estos materiales consisten en ensayos de laboratorio de humedad y densidad, además de datos extraídos de granulometrías en distintas terrazas del área de estudio; la humedad natural en estos materiales asciende a 16,85 %, con una densidad seca de 2,059 g/cm³. Las granulometrías realizadas muestran

que por el tamiz n°4 pasa el 63,67 %, por el n° 40 pasa el 51,95 % del material y, por el n° 200, el 35,92 %, lo que indica una cierta abundancia de gravas con respecto a arenas y tamaños más finos de partícula; según la USCS se clasifican como suelos SM (arenas limosas) y, a pesar de los gruesos, según la AASHTO se trata de suelos A-4 (suelos limosos).



Figura 3.10.- *Apreciación de los depósitos conglomeráticos de terraza sobre las Pizarras de Luarca en un talud de 3 metros en la Carretera Nacional N-634.*

Depósitos de la llanura (Q_{FM-LL})

Se localizan al norte y al sur del casco antiguo de la villa, correspondiente a la margen derecha del Río Navia. Presentan espesores variables, dependiendo del sector y la proximidad al río, pero se puede estimar un espesor medio de 26 metros, con valores máximos de 48 metros y mínimos de 3,9 metros.

Los materiales de los que se compone son bastante heterogéneos, desde gravas y bolos cuarcíticos (GM-GC/A-1-a; A-1-b; A-2-4) a limos y arcillas limosas orgánicas (OL/A-4) y arcillas arenosas inorgánicas de baja plasticidad (CL/A-4), pasando por arenas limosas y limos inorgánicos (SP-SM-SC-ML/A-3; A-2-4; A-2-5; A-2-6; A-4; A-6) con escasa o nula plasticidad. Como se ha dicho en el apartado referido a la estratigrafía, estos materiales se encuentran estructurados intercalándose en ocasiones el aluvial grueso con el fino, y este último presenta alternancias limo-arcillosas sobre él en algunas zonas. Respecto a la coloración de los materiales, las arenas limosas

(componente mayoritario del aluvial fino) presentan colores grises oscuros a negruzcos. Las gravas y bolos correspondientes al aluvial grueso presentan coloraciones similares, estando estas coloraciones entre tonos beige a negruzcos, siendo más abundante la segunda coloración. Esto indica presencia de materia orgánica en ambos tipos de sedimentos.

Las muestras no gravosas analizadas (32 de 36) se identifican en su mayoría como muestras de arenas limosas y limos (SM; SP; ML, etc) extraídas a profundidades comprendidas entre 3 y 15 metros; la mayor parte de las mismas se clasifican como suelos finos según la USCS y la AASHTO, por lo que el componente fino es muy abundante en estos suelos, estando las arenas ampliamente entremezcladas con estos finos, clasificándose por tanto estas arenas dentro del aluvial fino.

De todas las muestras analizadas, solo seis de ellas presentan límites de Atterberg y por tanto, pueden representarse en la Carta de Plasticidad de Casagrande (Fig. 3.11); corresponden a arenas limosas y limos inorgánicos (ML y CL) del sector “Ribazo-Rabión” y limos y arcillas inorgánicas (CL) y orgánicas (OL) correspondientes al sector “Granja”. El resto de las muestras, correspondientes a sectores como “Veigas”, “Olga”, “Ría” o “Aceñas” entre otros, o no presentan ningún rango de plasticidad o no presentan alguno de los límites necesarios para la representación. Estas muestras representadas presentan límite líquido inferior a 50 % por lo que se trata de muestras de baja plasticidad.

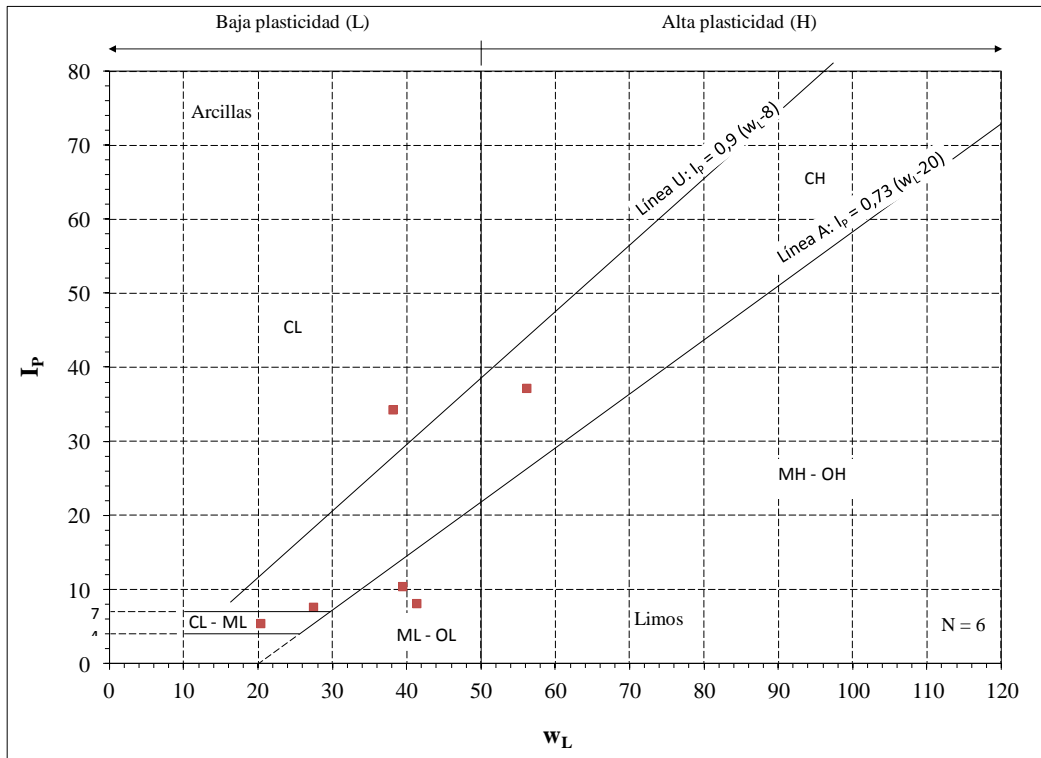


Figura 3.11.- Carta de Plasticidad de Casagrande representando los resultados de plasticidad determinados en las muestras recogidas.

A continuación (Tabla 3.2) se muestran los principales parámetros físicos determinados para los depósitos aluviales finos, ya que todas las muestras ensayadas corresponden a este aluvial. Los porcentajes de humedad se encuentran entre un 1 % y un 93 %, pero la mayor parte se localizan en un rango de 25-60 %, ya que el nivel freático se encuentra muy próximo a la superficie y generalmente oscila con las mareas. Los resultados de los límites de Atterberg, sus índices asociados y los cálculos derivados de ensayos de resistencia al corte, corresponden a muestras recogidas tanto en el norte como en el sur de la llanura aluvial.

	DEPÓSITOS DE LA LLANURA											
	W (%)	ρ (g/cm ³)	ρ_d (g/cm ³)	WL (%)	WP (%)	I.P. (%)	I _c	I _L	ϕ (°) (CD)	ϕ (°) (UU)	c (KPa) (CD)	c (KPa) (UU)
N	30	4	13	11	7	7	4	4	2	5	2	5
Min	1,45	1,27	0,64	19,10	14,90	4,50	-4,20	-1,14	34,20	27,10	20,80	24,50
Q1	26,15	1,63	1,14	26,40	19,35	6,35	-1,44	-0,86	37,33	32,00	27,20	24,50
M	41,40	1,79	1,57	28,30	27,00	7,60	0,62	0,38	40,45	33,00	33,60	34,30
Q3	56,40	1,90	2,13	35,75	30,85	8,40	1,86	2,44	43,58	36,00	40,00	77,00
Max	93,00	2,15	2,66	41,30	33,20	10,40	2,14	5,20	46,70	40,70	46,80	87,20
RIC	30,25	0,27	0,99	9,35	11,50	2,05	3,30	3,30	6,25	4,00	12,80	52,50
X	41,95	1,75	1,67	30,04	25,07	7,43	-0,20	1,20	40,45	33,76	33,60	49,50
S	23,85	0,36	0,69	7,32	7,22	1,98	2,91	2,91	8,84	5,03	18,10	30,24
Cv	0,57	0,21	0,41	0,24	0,29	0,27	-14,26	2,42	0,22	0,15	0,54	0,61

Tabla 3.2.- Síntesis de los parámetros geotécnicos disponibles para los depósitos aluviales finos del subsuelo de Navia.

Leyenda: W (%) = humedad natural; ρ (g/cm³) = densidad aparente; ρ_d (g/cm³) = densidad seca; WL (%) = límite líquido; WP (%) = límite plástico; I.P. (%) = índice de plasticidad; I_c = índice de consistencia; I_L = índice de liquidez; ϕ (°) = ángulo de rozamiento interno; (kPa) = cohesión; CD = ensayo de corte directo tipo consolidado drenado; UU = ensayo de corte directo tipo no consolidado no drenado; N = número de muestras; Mín. = valor mínimo; Q1 = primer cuartil; M = mediana (segundo cuartil); Q3 = tercer cuartil; Máx. = valor máximo; RIC = rango intercuartílico; X = media aritmética; S = desviación estándar; Cv = coeficiente de variación.

El potencial de expansividad de un suelo responde a la capacidad que presenta para hincharse con la absorción de agua; viene dado por la relación entre W/W_L y W_L (Oteo, 1986). Tal y como se puede ver en la Figura 3.12, la expansividad es baja o nula en estas muestras de suelos finos, Esto indica que presentan un bajo índice de plasticidad (suelos potencialmente poco expansivos).

En muestras de suelos CL-OL, extraídas bajo el nivel freático, la relación W/W_L se sitúa por encima de la unidad indicando que su porcentaje de humedad es ligeramente superior a su límite líquido, por tanto, según la mecánica de suelos estas muestras no deberían presentar resistencia al corte y se comportarían como un líquido. Los ensayos de resistencia al corte sin drenar (tipo UU) realizados en estas muestras indican una cohesión general de 25 kPa y ángulos de rozamiento interno de 30°; además la consistencia general de estas muestras indica que se trata consistencia fluida del orden de -4,2 y -0,52, es decir que el suelo se encuentra en un dominio líquido.

Relacionando la teoría con los ensayos prácticos se puede asumir que los ensayos son una determinación directa de las propiedades de un suelo, no siendo estos completamente perfectos ni exactos en ningún caso, mientras que la teoría solo argumenta un comportamiento ideal, teórico. Con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio de las muestras, tratándose de muestras limo-arcillosas y que han sido extraídas bajo el nivel freático, estos suelos se comportarían como un líquido, si es cierto que por teoría no deberían mostrar resistencia al esfuerzo cortante o ser estos valores inferiores a los resultados obtenidos.

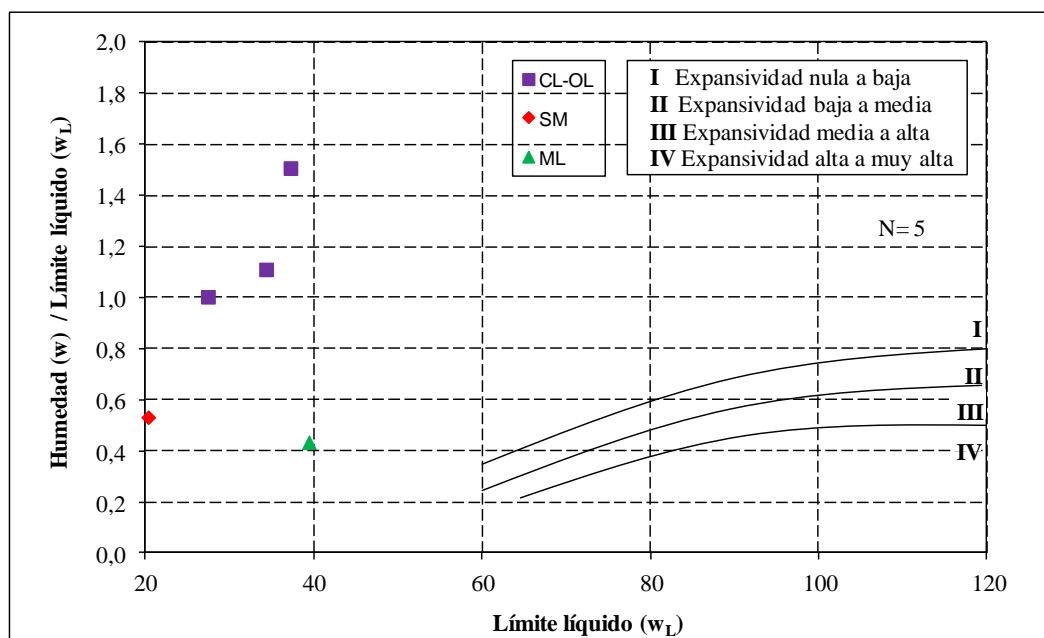


Figura 3.12.- Gráfico mostrando el potencial de expansividad de muestras areno-limosas y otras consistentes en limos y arcillas.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En lo que se refiere a resistencia a la compresión, no se han realizado este tipo de ensayos sobre las muestras de suelo extraídas, solo sobre muestras de roca del sustrato infrayacente que serán vistas con posterioridad.

Los resultados de los ensayos SPT ilustrados en la Figura 3.13 muestran una ligera tendencia al aumento de la resistencia a la penetración con la profundidad, pero muchos valores, fundamentalmente en arenas, no se ajustan a esta tendencia y presentan golpes relativamente bajos a profundidades considerables. Las arenas limosas y las gravas, ambos son suelos granulares y, aunque los primeros presentan una alta proporción de finos y se incluyen en el aluvial fino se les atribuye una compacidad en general, de materiales muy flojos a medios. Los materiales más gruesos ensayados fueron las gravas limosas, de las cuales no todos los ensayos están representados ya que generaron rechazos “ficticios”, sin embargo los ensayos satisfactorios para estos materiales se representan en la figura y pueden interpretarse como materiales “muy flojos” a “flojos”. Por último, los niveles de limos masivos y arcillas limosas que se intercalan y alternan con las arenas limosas, se pueden caracterizar como suelos de consistencia muy blanda a firme.

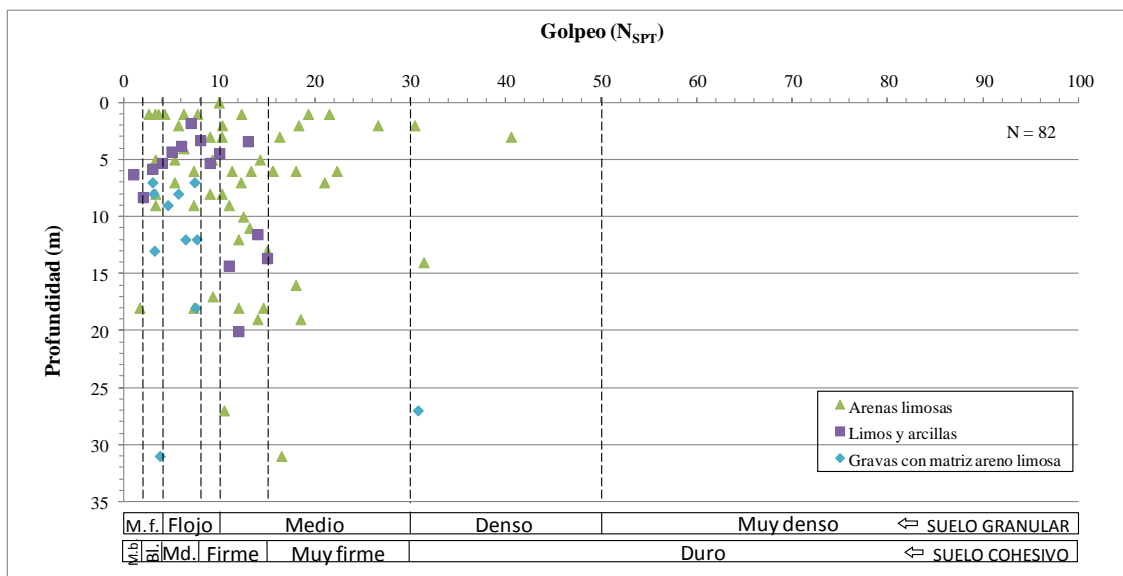


Figura 3.13.- Resultados de los ensayos SPT sobre distintas muestras de suelo en toda el área de estudio.

Sedimentos de “rasa” Q_{FM-R}

Sobre estos depósitos conglomeráticos (Fig. 3.14) también se realizaron estudios de campo que se correlacionaron con ensayos llevados a cabo en zonas próximas al área de estudio.

La cohesión de la matriz es generalmente baja a media con un aparente contenido en arenas. Estos resultados se intuyen debidos a un contenido en finos seguramente importante.

Los resultados de compacidad arrojados indican que se trata de materiales bastante compactos en lo que a matriz se refiere, comparados con otros materiales estudiados en este trabajo, sufriendo además rechazos durante las pruebas realizadas debido a la abundancia de cantos. Se podría afirmar una compacidad media-alta.

La consistencia puede esperarse blanda debido al posible contenido en arenas y a la posible baja plasticidad de estos materiales.

No se dispone de estudios geotécnicos sobre estos materiales en el área de estudio, pero en zonas muy próximas a esta área, se ha determinado que presentan una humedad natural del 21,59 %, además de una densidad seca de $1,575 \text{ g/cm}^3$ y ausencia de plasticidad. Se han clasificado, en base a granulometrías, según la USCS como suelos tipo SM (arenas limosas) y según la AASHTO como suelos tipo A-4 (suelos limosos no plásticos); en el tamiz n°4 pasa el 89,63 %, por el n° 40 pasa el 81,56 % del material y, por el n° 200 pasa el 78,15 % del material, lo cual indica el elevado porcentaje de finos con respecto a materiales más gruesos. Se estima también en dichos estudios para estos materiales una capacidad portante de $1,5 \text{ kp/cm}^2$ para la cimentación mediante zapatas directas sobre ellos. Dada la proximidad al área de estudio de estos materiales ensayados, se prevé que tanto su estructura como composición no varíen significativamente.

Asumiendo la ausencia de plasticidad de los finos en los estudios mencionados y sumando a los estudios realizados en los afloramientos, la consistencia determinada en este estudio encaja bastante bien con los resultados obtenidos en estos materiales.



Figura 3.14.- Depósitos de “rasa” mostrando una textura grano-soportada en un corte en la aldea de Haspra (Navia).

Sedimentos de arroyos (Q_{FM-A})

Al igual que con el resto de materiales interpretados, se dispone de estudios de campo y ensayos específicos de laboratorio, que se llevaron a cabo en los pocos afloramientos disponibles (Fig. 3.15).

La cohesión determinada es media. Existe una cierta adherencia entre las partículas.

La compacidad es en general baja, evidenciado por el golpeo con la barra y también por pequeños desprendimientos de material en el talud.

La consistencia se identifica como blanda ya que una muestra es fácil de moldear sin aplicar presión aunque su grado de adherencia en la mano no es muy elevada.

Los ensayos de laboratorio de los que se dispone en algunos de estos materiales muestran humedades de 28,83 % y una densidad seca de $1,45 \text{ g/cm}^3$, aunque estos valores pueden variar de un arroyo a otro o de un afloramiento a otro. Las granulometrías realizadas muestran que por el tamiz n° 4 pasa el 61,46%, por el n° 40 el 43,44 % y por el n° 200 pasa el 35,87 % del material, indicando gran contenido en materiales granulares; la clasificación de la USCS indica que se trata de suelos SM (arenas limosas, arenas con finos) mientras que la AASHTO los clasifica como suelos A-4 (suelos limosos). Los ensayos de plasticidad realizados en la matriz de estos materiales son nulos.



Figura 3.15.- *Afloramiento de depósitos torrenciales conglomeráticos en el sector de “Las Cortes”.*

Sustrato rocoso (O_{PL})

La Fm. Pizarras de Luarca es la única formación rocosa que aflora en el área de estudio. Se encuentra tanto recubierta por los sedimentos de la Ría como en los taludes delimitando el valle fluvial. Se trata de pizarras ordovícicas con una fuerte foliación desarrollada, característica que les confiere heterogeneidad en sus propiedades geotécnicas, especialmente en su resistencia a la rotura.

Sus propiedades se tratan en función de si el componente analizado es la matriz rocosa (ensayos de laboratorio sobre testigos de sondeo) o si los estudios se refieren al macizo rocoso (determinaciones sobre el propio macizo, tales como RMR, familias de diaclasas, espaciado entre las mismas, etc.).

Matriz rocosa

La Tabla 3.3 refleja los parámetros geotécnicos de los que se dispone del laboratorio. Como se puede observar, los coeficientes de variación son relativamente bajos, lo que significa que los parámetros geotécnicos obtenidos presentan resultados similares en varias muestras.

SUSTRATO ROCOSO					
	W (%)	ρ (g/cm³)	ρ_d (g/cm³)	σ_c	IS₅₀
N	3	4	3	10	2
Min	2,51	2,19	2,13	1,06	0,62
Q1	2,57	2,45	2,38	13,73	0,65
M	2,63	2,62	2,62	19,40	0,68
Q3	2,67	2,69	2,62	23,24	0,70
Max	2,70	2,69	2,62	31,45	0,73
RIC	0,10	0,24	0,25	9,51	0,06
X	2,61	2,53	2,46	18,53	0,68
S	0,10	0,24	0,28	8,91	0,08
Cv	0,04	0,09	0,12	0,48	0,12

Tabla 3.3.- Síntesis de los parámetros geotécnicos determinados en la matriz rocosa de las Pizarras de Luarca, formación presente en el área de estudio.

Leyenda: W (%) = humedad natural; ρ (g/cm³) = densidad aparente; ρ_d (g/cm³) = densidad seca; σ_c (MPa) = resistencia a la compresión simple; IS₅₀ (MPa) = resistencia a la carga puntual corregida; N = número de muestras; Min. = valor mínimo; Q1 = primer cuartil; M = mediana (segundo cuartil); Q3 = tercer cuartil; Máx. = valor máximo; RIC = rango intercuartílico; X = media aritmética; S = desviación estándar; Cv = coeficiente de variación.

La resistencia a compresión simple es con diferencia la que presenta mayor dispersión de los resultados (Cv = 0,48). El valor más bajo observado es de 1,06 MPa, el cual representa claramente la variación de esta propiedad con la orientación de los esfuerzos principales. La Figura 3.16 ilustra más claramente este hecho junto con su variación con la profundidad. Aunque la media se sitúan en 18,53 MPa, la mayor parte de los valores se encuentran entre 11 y 23 MPa, lo que las clasifica como rocas blandas a moderadamente duras según la clasificación de la ISRM (1981) o rocas con resistencia

muy baja a baja según Bieniawski (1973), tal y como se puede ver en la Figura 3.17. Estas variaciones en la resistencia se deben tanto a la variación de la orientación de los esfuerzos, la profundidad de recogida de la muestra o el grado de alteración del material (II-III).

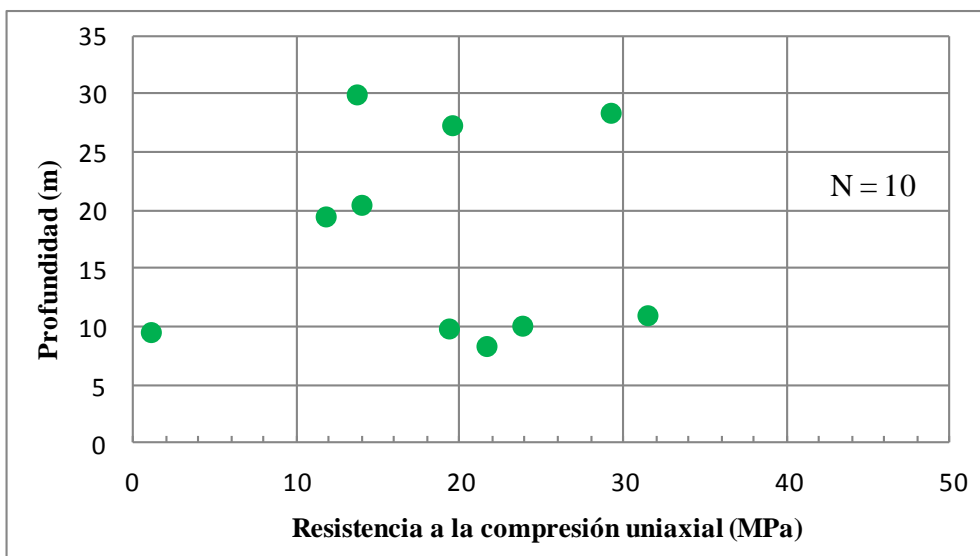


Figura 3.16.- Variación de la resistencia a compresión simple con la profundidad en la Fm. Pizarras de Luarca.

Algunos de los parámetros de compresión se obtuvieron por correlación con los ensayos de carga puntual (Point Load Test), puesto que la muestra rocosa no permitió realizar el ensayo a compresión simple. La correlación de resistencia entre estos valores se realiza mediante la fórmula siguiente:

$$UCS = 23 \times IS_{50} \quad \text{donde,}$$

UCS: Resistencia a compresión simple

IS₅₀: Resistencia a la carga puntual corregida, para un diámetro de probeta de 50 mm.

Resistencia a la compresión simple (MPa)	ISRM (1981)	Geological Society of London (1970)	Bieniawski (1973)	Ejemplos
< 1	Suelos			
1-5	Muy blanda	Blanda > 1,25	Muy baja	Sal, lutita, limolita, marga, toba, carbón.
5-12,5	Blanda	Moderadamente blanda		
12,5-25		Moderadamente dura		
25-50	Moderadamente dura		Baja	Esquisto, pizarra.
50-100	Dura	Dura	Media	Rocas metamórficas esquistosas, mármol, granito, gneiss, arenisca, caliza porosa.
100-200	Muy dura	Muy dura	Alta	Rocas ígneas y metamórficas duras, arenisca muy cementada, caliza, dolomía.
> 200				
> 250	Extremadamente dura	Extremadamente dura	Muy alta	Cuarcita, gabro, basalto.

Figura 3.17.- Distintas clasificaciones de la resistencia a la compresión simple en función de la resistencia de la roca matriz.

Macizo rocoso

Los estudios que se han llevado a cabo para este tipo de análisis son fundamentalmente datos referidos a estudios de campo.

Los estudios de RMR realizados en los afloramientos disponibles e incluidos en la base de datos de ArcGIS dentro de la capa “estaciones” (Fig. 2.13) y como anexo en este trabajo (Anexo III) permitieron, además de estimar cuantitativamente la calidad y el tipo de macizo rocoso mediante un número determinado, la posibilidad de caracterizar el tipo de juntas que presentan, sus condiciones y el espaciado entre ellas.

En la mayor parte de los afloramientos rocosos se estimó un RQD entre 25 % y 50 %, una resistencia a la compresión simple entre 5 y 25 MPa y un grado de alteración similar, siendo este un grado II-III, pudiendo ser correlacionable con el grado de alteración general que presenta este mismo sustrato bajo los depósitos de la llanura del río; sin embargo la calidad de los macizos no es siempre la misma, alternándose la clase de macizo entre III (medio) y V (muy malo) con valores de RMR muy diferentes entre ellos.

Para determinar qué tipos de fracturas existen en los macizos, se realizaron estudios de medición de los planos de las mismas en campo, apoyado por la representación de los planos obtenidos mediante el programa “Dips”. Tras este procedimiento, se han interpretado 3 familias generales de discontinuidades en los macizos rocosos:

La primera familia de discontinuidades, y las más importantes, se sitúan paralelas a la foliación primaria S1 (Fig. 3.18). Estas fracturas presentan un espaciamiento entre las mismas entre 60 y 200 milímetros e incluso inferior a 60 milímetros. Su abertura es en general de 1 a 5 milímetros; a pesar de esto algunas de ellas presentan una abertura mayor por separación de la foliación a través de medios físicos o biológicos, comprometiendo la estabilidad de los taludes. Es por esto que son las consideradas a la hora del cálculo del RMR. Su superficie es levemente rugosa o suave, persistentes a lo largo de los taludes, con manchas de humedad en la mayor parte de los casos, suavemente rellenas o sin relleno apreciable. Su orientación depende de la orientación de la foliación S1, la cual varía desde regular a favorable debido a la disposición de las rocas con respecto a los taludes; esta variación en la orientación y en sus condiciones hace que el RMR se modifique notablemente. Su longitud se extiende generalmente hasta la altura del macizo, encontrándose levemente meteorizadas.

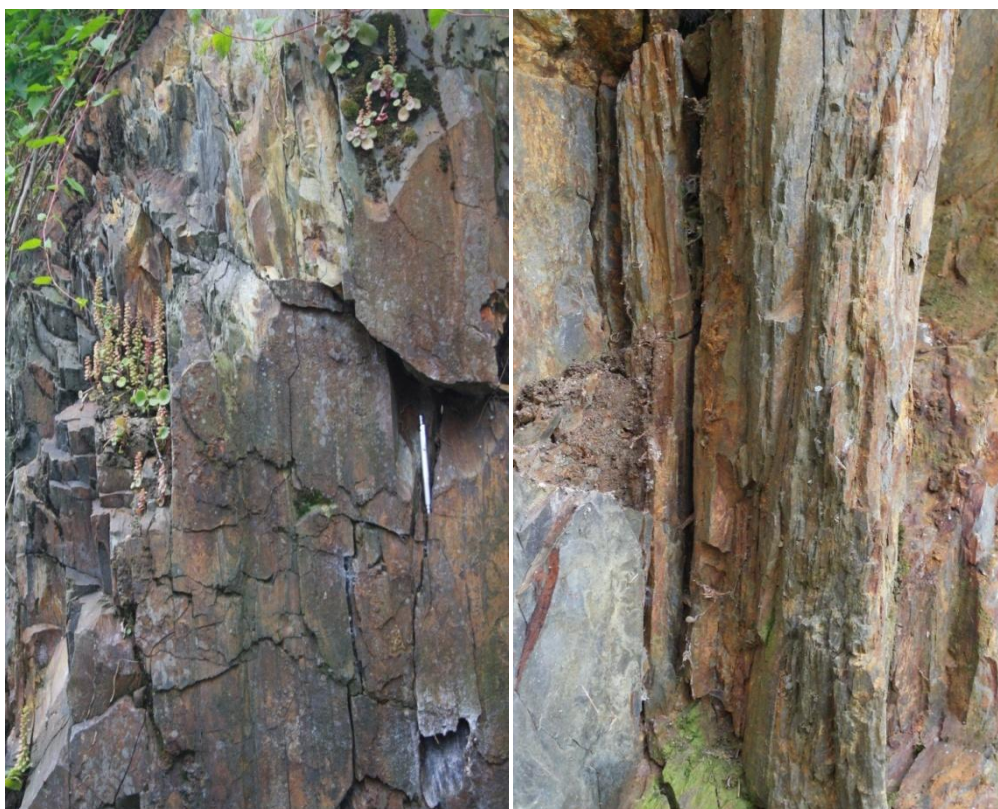
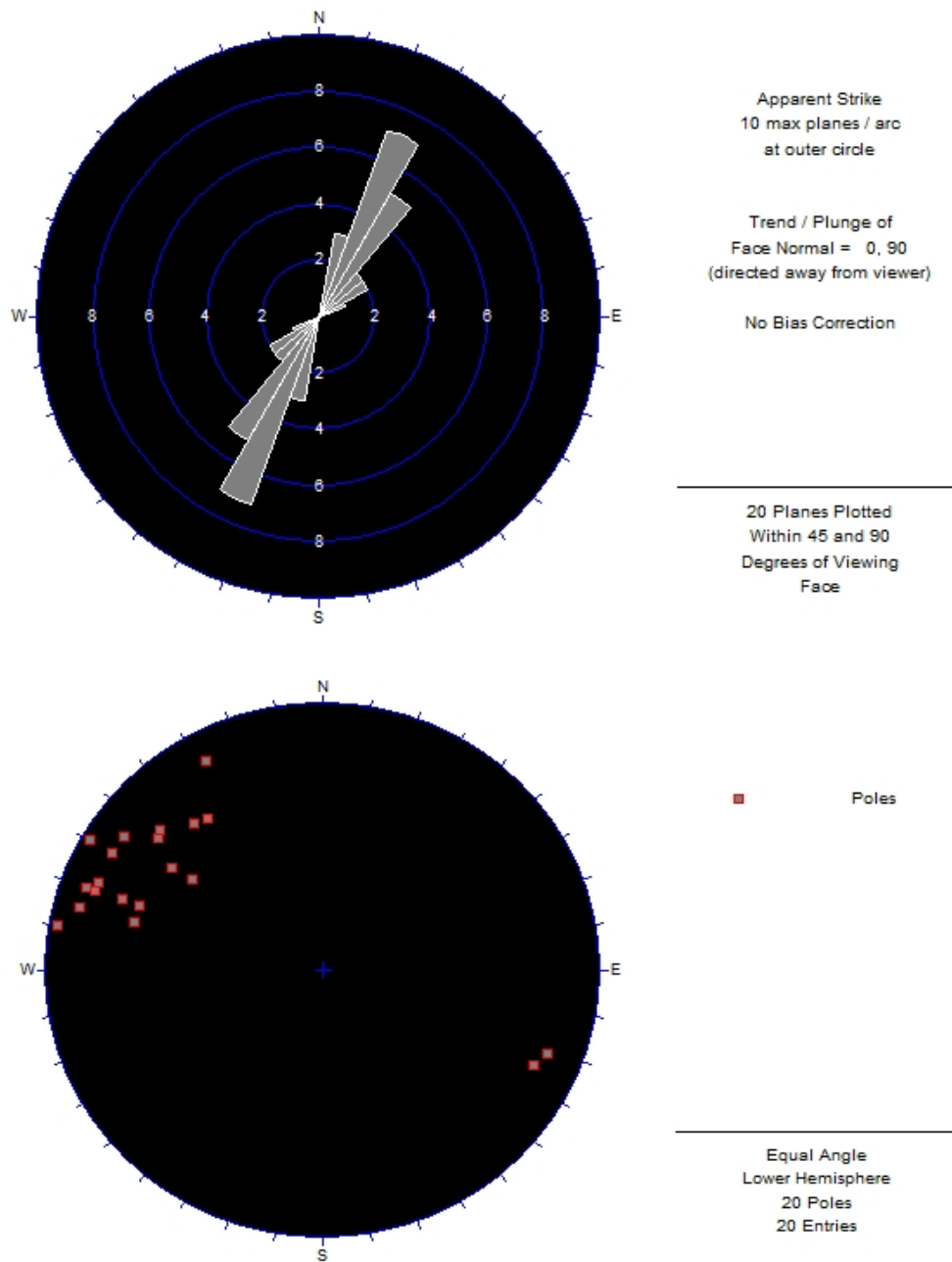


Figura 3.18.- Izquierda: discontinuidades paralelas a la foliación primaria S1 en la carretera NV-3 (sector “Cortes”). Derecha: mismo caso que el anterior pero con una mayor abertura en las mismas (sector “Veigas”).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 3.19 puede observarse como estas fracturas conforman una única familia de discontinuidades, con orientación de rumbo NE-SW y planos de elevada inclinación, del orden de 75°-85°, buzando generalmente hacia el SE.



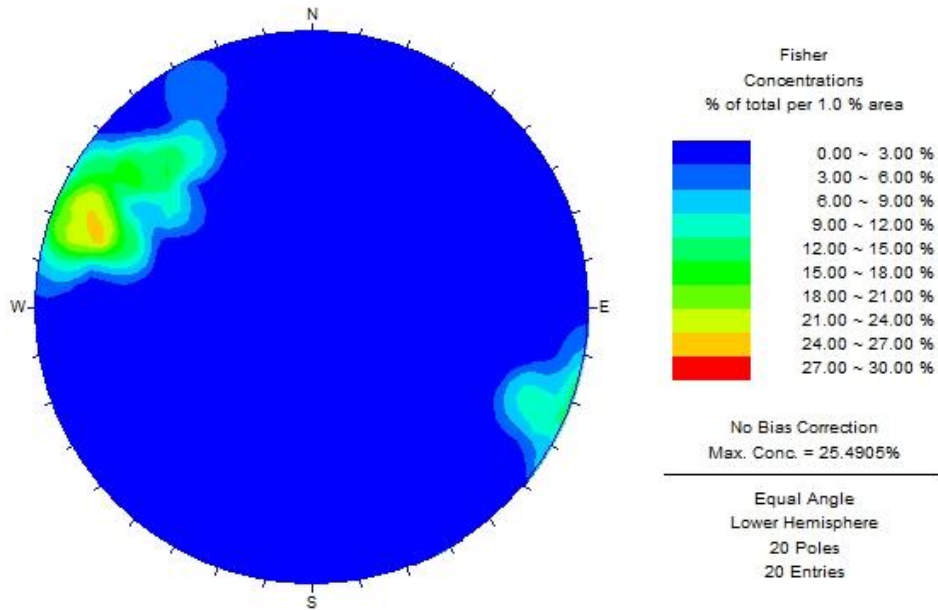


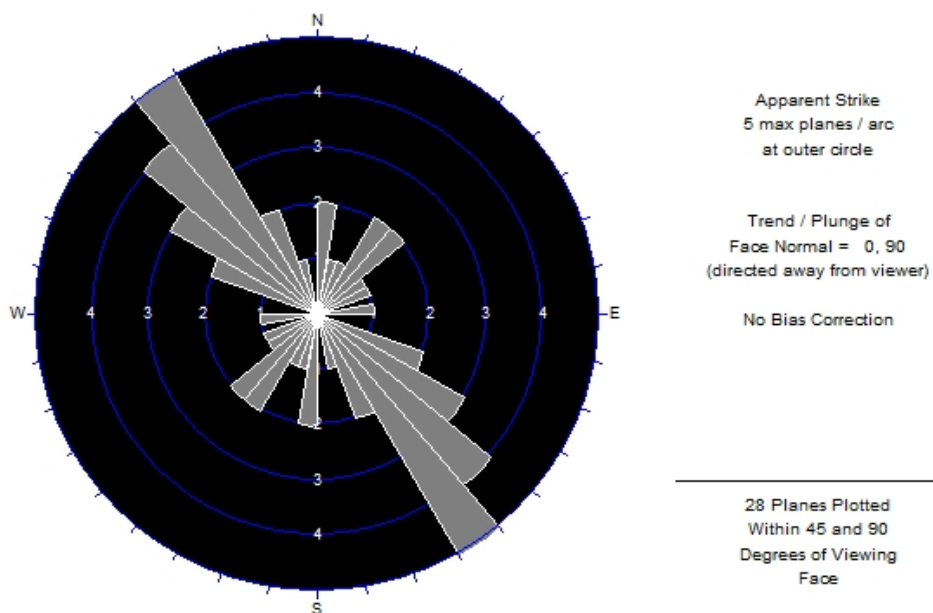
Figura 3.19.- Superior: diagrama en rosa mostrando la orientación preferente de las fracturas asociadas a la S1. Centro: representación de los planos de las fracturas en el diagrama de polos. Inferior: diagrama de densidad asociado al diagrama de polos mostrando la distribución de las fracturas formando una asociación o familia principal.

Las otras dos familias de discontinuidades presentan características similares a las anteriores a excepción de las orientaciones, las cuales en una los planos son prácticamente horizontales (Fig. 3.20) con ligeras inclinaciones hacia el NE y el SW, mientras que en la otra los planos se orientan generalmente hacia el SW con inclinaciones de entre 50°-70°. Existen otras familias menores de fracturas pero estas están muy dispersas y se orientan en varios sentidos con inclinaciones distintas (Fig. 3.21).



Figura 3.20.- *Apreciación de un sistema de fractura horizontal y otros planos oblicuos asociados, pertenecientes a sistemas de fractura menores.*

La distinción entre estas dos familias se vuelve algo más complejo debido a la densidad de datos con orientaciones similares, pero en este caso, los diagramas de representación extraídos del “Dips” son mucho más útiles que en el anterior, mostrándose en la Figura 3.21 las dos familias anteriormente descritas, representadas junto con otras subfamilias menores.



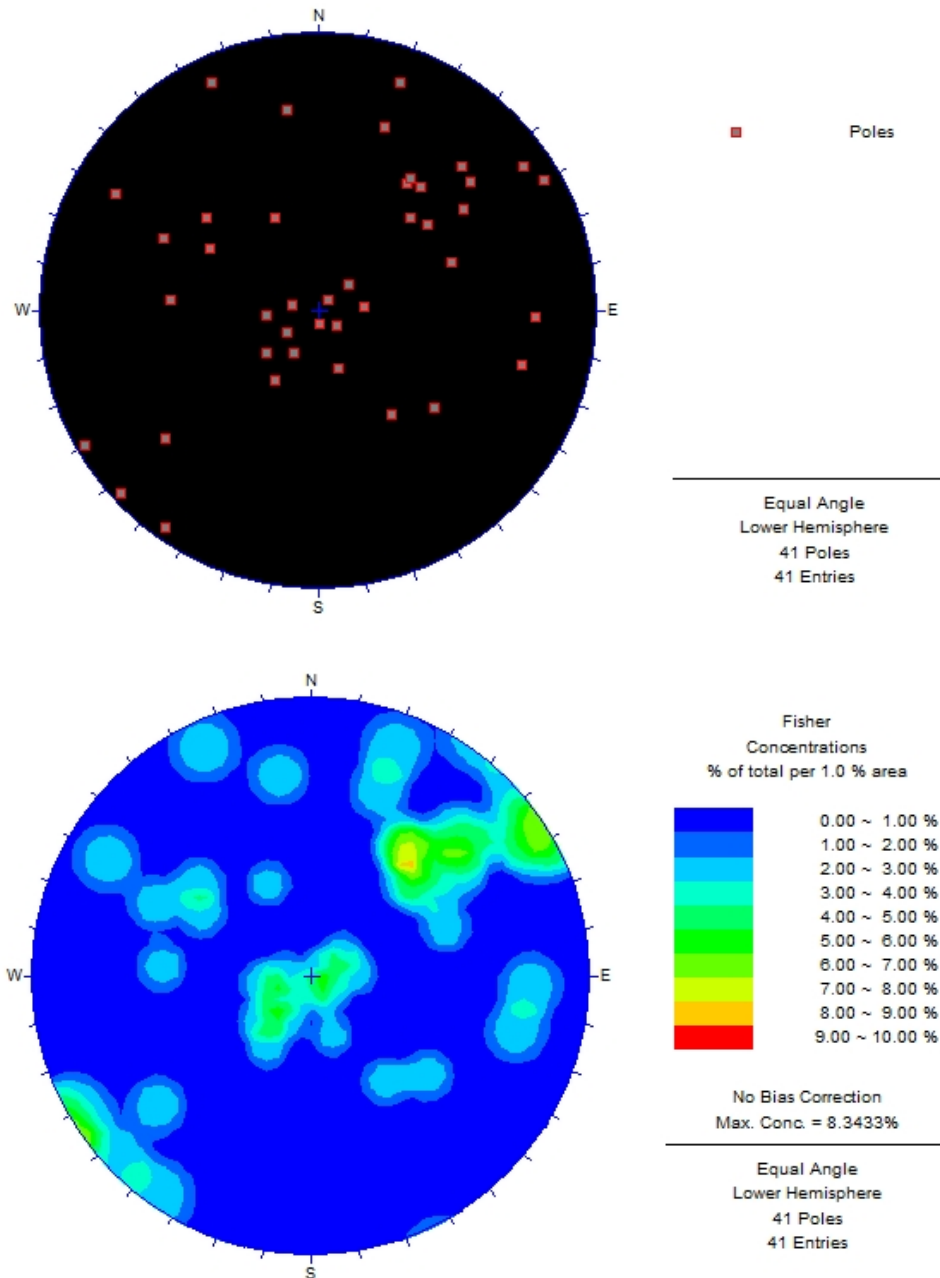


Figura 3.21.- Superior: diagrama en rosa mostrando la orientación preferente de las fracturas. Centro: representación de los planos de las fracturas en el diagrama de polos. Inferior: diagrama de densidad asociado al diagrama de polos mostrando más claramente la distribución de las fracturas, diferenciando asociaciones o familias junto con otras subfamilias.

La dinámica de laderas no es fuertemente notable, produciéndose pequeños desprendimientos de material no muy voluminosos que se van acumulando al pie de los taludes y son cubiertos con vegetación. En estaciones invernales y épocas de fuertes lluvias, se pueden producir y se produjeron en el pasado, desprendimientos de material de gran volumen que en algún caso afectaron a infraestructuras. Esto es debido a que muchas de las fracturas principales están abiertas por meteorización física y son principalmente subverticales. Estos factores condicionantes sumados a las precipitaciones, son los que hacen que se produzcan desprendimientos como el de la Figura 3.22, recientemente producido en los últimos meses.



Figura 3.22.- *Fotografía de un desprendimiento rocoso a favor de las discontinuidades principales en la zona de la estación de tren (“Las Cortes”).*

3.3. VALORACIÓN GEOTÉCNICA

Las recomendaciones que aquí se tratan son indicadas en base al buen resultado que han dado en la edificación de estructuras a lo largo de los años en la villa y, en algunos casos, constituyen la opción más adecuada. Se indica un resumen referido a excavabilidad de materiales, sostenimiento de taludes y cimentación de estructuras para los depósitos de la llanura, las terrazas y la rasa, ya que son los materiales más habituales sobre los que se actúa en la villa.

3.3.1. Recomendaciones de excavación

En general, la excavabilidad de estos materiales de es sencilla, considerándose ripables mediante métodos mecánicos convencionales, tales como palas cargadoras, retrocargadoras (mixtas) o excavadoras hidráulicas montadas sobre orugas, ya que los materiales a movilizar están formados por rellenos antrópicos vertidos sobre el terreno o las partes más superficiales del aluvial fino o grueso, que en la superficie y para la profundidad a excavar (3-4 metros) carecen de elevada compacidad y se trata de materiales “suelos” a “muy suelos” (Fig. 3.23).

En estas excavaciones, fundamentalmente referido a los depósitos de la llanura, se recomienda construir taludes con una inclinación general 1H:1V, pudiendo pasar a 2H:1V si estos permanecen un largo periodo de tiempo abiertos y por lo general con alturas inferiores a 4 metros. Para alturas superiores y fundamentalmente en zonas próximas al río, se recomienda y se deben realizar pantallas de pilotes, micropilotes o muros pantalla de gran resistencia, impermeabilizando mediante aislantes las zonas de medianería y los propios muros.

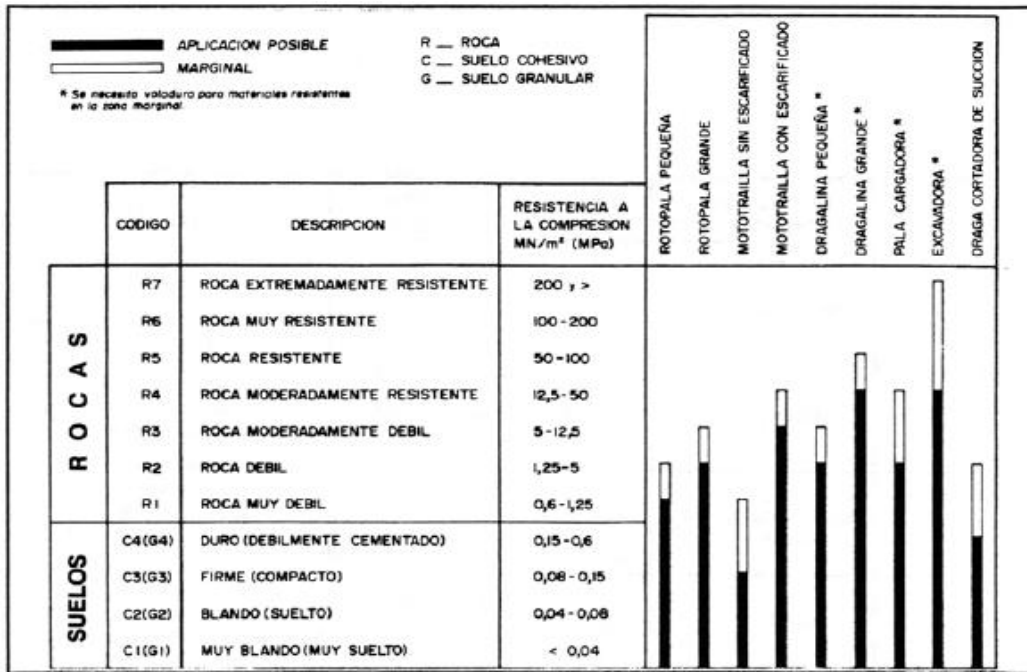


Figura 3.23.- Valoración de la excavabilidad de los materiales según Atkinson (1971).

3.3.2. Condiciones de cimentación

A la hora de realizar cimentaciones en Navia sobre los depósitos de la llanura o materiales conglomeráticos como niveles de gravas, terrazas o depósitos de “rasa”, es necesario saber qué tipo de estructura se va a apoyar, ya que no se llevarán a cabo los mismos métodos de cimentación en el caso de tratarse de un edificio o una vivienda unifamiliar. A continuación se analizan estos dos casos:

Cimentaciones para edificios

Como el sustrato rocoso se encuentra relativamente profundo sobre la llanura, es necesaria la realización de una cimentación profunda mediante pilotes. La opción más recomendada es la hinca de pilotes cuadrados prefabricados trabajando por punta con una ligera contribución por fuste. Este método es utilizado frecuentemente con respecto a los pilotes encofrados “in-situ” debido a su sencillez de ejecución. El empotramiento suele ser del orden de 6-8 diámetros en el caso de apoyarse la cimentación sobre niveles de gravas basales. Si es posible alcanzar el sustrato rocoso, se recomienda llegar a este nivel y empotrar los pilotes unos 4 diámetros en el caso de tratarse de roca sana, o 6 diámetros en el caso de tratarse de sustrato moderadamente meteorizado. Aún con estas recomendaciones, el CTE indica que los pilotes deberían hincarse al menos 8 diámetros.

La longitud mínima de los pilotes es a convenir en función del nivel geotécnico de cimentación, pero siempre deberán tener una longitud mínima de 20 metros. La presión vertical admisible del terreno a través de este método se sitúa entre 50-70 kp/cm² para el trabajo por punta y 0,3-0,8 kp/cm² para el trabajo por fuste, en función de las dimensiones de los pilotes y el material sobre el que apoyar la cimentación.

En algunos estudios se han propuesto cimentaciones directas mediante zapatas aisladas y mediante losa armada para niveles superficiales de gravas ya que los niveles de arenas carecen de la compacidad suficiente; los valores de tensión admisible para las zapatas se sitúan en 1,5 kp/cm², mientras que para la losa se obtienen valores de 0,60 kp/cm². Pero aún así no se recomienda realizar cimentaciones superficiales para este tipo de edificaciones ya que además de las cargas que pueda transmitir la estructura, presentan niveles de materia orgánica que puede dar lugar a asentamientos por compactación.

Cimentaciones para viviendas unifamiliares

Si la estructura a cimentar es una que no transmita una gran carga al terreno, como son construcciones de una o dos plantas y, si la construcción se realiza sobre la llanura o sobre dichos depósitos conglomeráticos anteriormente citados, se recomienda la utilización de cimentaciones directas mediante zapatas corridas bajo los muros de la vivienda y zapatas aisladas en el resto de la estructura. El nivel de apoyo de estas estructuras serán siempre niveles superficiales de cierta compacidad, situándose estos entre 2 y 3 metros de profundidad respecto a la rasante (superficie). La presión vertical admisible a adoptar para este tipo de cimentaciones no debe superar los 2 kp/cm² para cualquier ancho de zapata. Si la construcción se realiza en alguna de las laderas, el sustrato rocoso se encuentra relativamente superficial, por lo que se pueden realizar cimentaciones directas sobre el mismo sin grandes inconvenientes.

3.3.3. Problemáticas específicas

Debido a la situación de Navia con respecto al nivel del mar, el nivel freático en el subsuelo se localiza entre 1 y 4 metros de profundidad, oscilando con las mareas. En los ensayos de laboratorio realizados en distintas muestras de agua recogidas en sondeos, se ha llegado a determinar que las aguas freáticas presentan agresividad débil-media debido a la presencia de cloruros y CO₂ libre y débil para sulfatos en su composición, lo que indica una exposición de tipo IIIb-IIIc y un ambiente Qa-Qb (EHE-08) como se ve en la Tabla 3.4. Aunque en general los análisis de aguas indican agresividad débil en estos elementos, se recomienda la utilización de cementos resistentes al ataque químico del agua de mar.

Clase general de exposición				Descripción	Ejemplos
Clase	Subclase	Designación	Tipo de proceso		
No agresiva		I	Ninguno	- Interiores de edificios, no sometidos a condensaciones - Elementos de hormigón en masa	- Interiores de edificios, protegidos de la intemperie
Normal	Humedad alta	IIa	Corrosión de origen diferente de los cloruros	- Interiores sometidos a humedades relativas medias altas (> 65%) o a condensaciones - Exteriores en ausencia de cloruros, y expuestos a lluvia en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm - Elementos enterrados o sumergidos	- Sótanos no ventilados - Cimentaciones - Tableros y pilas de puentes en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm - Elementos de hormigón en cubiertas de edificios
	Humedad media	IIb	Corrosión de origen diferente de los cloruros	- Exteriores en ausencia de cloruros, sometidos a la acción del agua de lluvia, en zonas con precipitación media anual inferior a 600 mm	- Construcciones exteriores protegidas de la lluvia - Tableros y pilas de puentes, en zonas de precipitación media anual inferior a 600 mm
Marina	Aérea	IIIa	Corrosión por cloruros	- Elementos de estructuras marinas, por encima del nivel de pleamar - Elementos exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera (a menos de 5 km)	- Edificaciones en las proximidades de la costa - Puentes en las proximidades de la costa - Zonas aéreas de diques, pantalanés y otras obras de defensa litoral - Instalaciones portuarias
	Sumergida	IIIb	Corrosión por cloruros	- Elementos de estructuras marinas, sumergidas permanentemente, por debajo del nivel mínimo de bajamar	- Zonas sumergidas de diques, pantalanés y otras obras de defensa litoral - Cimentaciones y zonas sumergidas de pilas de puentes en el mar
	En zona de mareas	IIIc	Corrosión por cloruros	- Elementos de estructuras marinas situadas en la zona de carrera de mareas	- Zonas situadas en el recorrido de marea de diques, pantalanés y otras obras de defensa litoral - Zonas de pilas de puentes sobre el mar, situadas en el recorrido de la marea

CLASE GENERAL DE EXPOSICIÓN				DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Clase	Subclase	Designación	Tipo de proceso		
Química agresiva	débil	Oa	ataque químico	-elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad lenta (ver Tabla 8.2.3.b)	-instalaciones industriales, con sustancias débilmente agresivas según tabla 8.2.3.b. -construcciones en proximidades de áreas industriales, con agresividad débil según tabla 8.2.3.b.
	media	Ob	ataque químico	-elementos en contacto con agua de mar -elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad media (ver Tabla 8.2.3.b)	-dolos, bloques y otros elementos para diques -estructuras marinas, en general -instalaciones industriales con sustancias de agresividad media según tabla 8.2.3.b. -construcciones en proximidades de áreas industriales, con agresividad media según tabla 8.2.3b -instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales con sustancias de agresividad media según tabla 8.2.3.b.
	fuerte	Oc	ataque químico	-elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad rápida (ver Tabla 8.2.3.b)	-instalaciones industriales, con sustancias de agresividad alta de acuerdo con tabla 8.2.3.b -instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales, con sustancias de agresividad alta de acuerdo con tabla 8.2.3.b.
Con heladas	sin sales fundentes	H	ataque hielo-deshielo	-elementos situados en contacto frecuente con agua, o zonas con humedad relativa media ambiental en invierno superior al 75%, y que tengan una probabilidad anual superior al 50% de alcanzar al menos una vez temperaturas por debajo de -5°C	-construcciones en zonas de alta montaña -estaciones invernales
	con sales fundentes	F	ataque por sales fundentes	-elementos destinados al tráfico de vehículos o peatones en zonas con más de 5 nevadas anuales o con valor medio de la temperatura mínima en los meses de invierno inferior a 0°C	-tableros de puentes o pasarelas en zonas de alta montaña
erosión		E	Abrasión Cavitación	-elementos sometidos a desgaste superficial -elementos de estructuras hidráulicas en los que la cota piezométrica pueda descender por debajo de la presión de vapor del agua	-pilas de puente en cauces muy torrenciales -elementos de diques, pantalanés y otras obras de defensa litoral que se encuentren sometidos a fuertes oleajes -pavimentos de hormigón -tuberías de alta presión

Tabla 3.4.- Superior: clases generales de exposición relativas a la corrosión de armaduras. Inferior: clases específicas de exposición relativas a otros procesos de deterioro distintos a la corrosión (EHE-08).

El grado de estanqueidad de los sótanos va a depender de la impermeabilidad de los muros y las zonas de medianería, por lo que será necesario atender bien a esta acción. Para una buena estanqueidad se recomienda impermeabilizar la solera en el contacto con estas zonas críticas para evitar que el agua produzca subpresiones o entre en los desagües de la misma y llegue a los sótanos; aún así se recomienda la colocación de bombas de achique para extraer las posibles filtraciones de agua que se puedan producir. Se recomienda también la colocación de un sistema de drenaje interno en la solera de los edificios con el fin de recoger las aguas de filtración superficial.

Los materiales de relleno en superficie presentan escasa compactación, por lo que se recomienda compactar los mismos o sustituirlos por un material más adecuado y compactarlo. Si el método de cimentación consiste en pilotaje, será recomendable para apoyar la máquina de pilotaje la colocación de piedras de cantera y gravas para mejorar el terreno de apoyo, repitiendo esta operación a medida que los bloques se hundan.

En algunos casos los rellenos se componen de grandes bloques que impiden la correcta perforación de pilotes, a lo que también puede sumarse el difícil acceso a la zona de la máquina que los hinca, por lo que en estos casos se recomienda utilizar micropilotes como cimentación profunda. Esta opción minimiza los fenómenos de asientos por el acortamiento elástico de los micropilotes.

Si no se alcanza el sustrato rocoso en las prospecciones y los niveles inferiores se presentan como “suelos” o “muy suelos” se pueden realizar inyecciones de resinas de alta expansión, morteros y otras materias resistentes a la alteración por cloruros y sulfatos.

3.4. APORTACIONES CARTOGRÁFICAS

En este apartado se describe la distribución espacial de los materiales identificados tanto en campo como a través de la documentación geotécnica disponible revisada. La cartografía determinada se aporta a escala 1:5.000 como anexo, pudiendo derivar de la misma dos cortes geológicos a la misma escala, al norte y al sur de la villa, adjuntos también como anexos.

Esta cartografía ha sido posible, gracias a la informatización y georreferenciación de los datos de partida y las estaciones de campo que se han llevado a cabo para caracterizar los materiales, establecer sus límites y realizar un reportaje fotográfico sobre el que paulatinamente se trabajó. Esto ha hecho que tanto las prospecciones y estaciones realizadas como la información asociada a estos, se encuentre localizada con gran precisión

A la hora de dibujar la cartografía se han seguido dos premisas importantes: la diferenciación entre roca y suelo según la ISRM, anteriormente expuesta, y los espesores cartografiables. Actualmente todos los materiales cartografiados presentan una resistencia a la compresión inferior a 1 MPa, a excepción de las Pizarras de Luarca, por lo que todos los materiales se consideran suelos exceptuando estas últimas. En cuanto a espesores de formaciones superficiales, se ha tenido en cuenta una potencia mínima cartografiable igual o superior a 50 centímetros para todas las unidades a excepción de los depósitos antrópicos, el cual debe ser igual o superior a 2 metros para que sea representado. A continuación se indica lo más claramente posible la distribución de los materiales cartografiados.

3.4.1. Distribución de las unidades

Comenzando por la llanura, los niveles más superficiales y modernos corresponden a rellenos antrópicos. Estos materiales se sitúan prácticamente sobre toda la llanura aluvial, pero las potencias importantes se sitúan próximas al río y paralelas al mismo, ya que esta zona es la que más necesita de nivelación; el puerto, parques y algunas carreteras presentan niveles de estos rellenos que se han ido incorporando al subsuelo a medida que el pueblo se expandió el puerto.

Los materiales inmediatamente por debajo de los rellenos corresponden a los depósitos cuaternarios sobre la llanura, que consisten en arenas limosas mal graduadas y con materia orgánica, niveles de gravas con matriz areno limosa o arcillosa o niveles de limos y arcillas superficiales. Las arenas limosas corresponden al principal componente del aluvial fino del subsuelo, alternándose con niveles del aluvial grueso (gravas) en la parte sur y presentando niveles limo-arcillosos por encima de las mismas en la parte norte. Estos niveles limo-arcillosos coinciden con la confluencia del Río Navia con el Arroyo Olga, pudiendo generar aportes más finos de material en esas zonas.

Ya sobre las laderas y zonas alejadas del núcleo urbano, el sustrato rocoso correspondiente a las Pizarras de Luarca, se muestra delimitando longitudinalmente la llanura y el valle fluvial. Sobre este se encuentran depositadas las formaciones de terrazas, coluviones, depósitos de arroyos y sedimentos de “rasa” marina; de todas estas se hablará a continuación

Los depósitos de terraza se localizan principalmente sobre el sustrato rocoso, siendo cortados estos afloramientos por carreteras locales y nacionales. La extensión de estos depósitos es difícil de cartografiar en el campo atravesando las colinas ya que, aunque la topografía presenta un gradiente de pendiente significativo, existe abundante vegetación, pastos y propiedades privadas que generan problemas algo difíciles de sortear, por lo que se han cartografiado en base a datos de campo y datos extraídos de cartografías previas. Si estos depósitos se localizan en el núcleo urbano se identifican sin problema.

Los materiales de “rasa” se localizan en las partes más altas que el relieve permite. Son fundamentalmente zonas planas y elevadas a partir de las cuales comienza una pendiente en ocasiones pronunciada. Por debajo de estos materiales, en estas zonas más pronunciadas, estos depósitos pasan a ser coluviones de material que incluyen cantos muy similares a los de los depósitos de “rasa”, por lo que tanto la posición de los mismos junto con ciertas relaciones entre ambos depósitos hace posible intuir una relación con los depósitos de “rasa”, además de la alteración del sustrato rocoso en la formación de dichos coluviones; estos depósitos corresponderían a derrubios procedentes de la desestabilización de formaciones clásticas con poca matriz silíceo en la cartografía realizada por el INDUROT (Menéndez Duarte, 2002), ya que estos engloban a los depósitos de “rasa”. En algunas zonas estos coluviones pueden confundirse con eluviales de alteración del sustrato rocoso debido al déficit de cantos por modificación antrópica, explicado en el apartado de “propiedades geotécnicas de los materiales”.

Los depósitos de arroyos se localizan atravesando de este a oeste la cartografía realizada, cortando tanto los coluviones como las Pizarras de Luarca. Sobre estas últimas es posible que existan capas de coluviones o eluviales de espesor inferior a 50 centímetros o no se puedan identificar con facilidad, por lo que se encuentran ausentes en la cartografía. En las salidas de los arroyos, fundamentalmente cuando confluyen con otros ríos, suelen acumularse cantidades importantes de limos y arcillas formando zonas de marisma; en la cartografía se pueden ver dos casos referidos a este hecho, correspondientes a la confluencia del Río Navia con el Arroyo Olga (actualmente zona ya edificada) y a la confluencia del Arroyo Valmeón con los ríos Anleo y Navia (zona sin edificar que constituye una marisma).

Es de importancia destacar que disponiendo de más estudios geotécnicos en otras zonas de la población y con jornadas de campo de mayor duración y exploración, se podría mejorar la distribución espacial de dichos materiales. Ninguna cartografía es precisa al

100 % y siempre pueden mejorarse sometiéndose a revisión, siendo esta una de las bases de la investigación.

IV. CONCLUSIONES

Este trabajo profundiza en el conocimiento de la geología y la geotecnia del subsuelo urbano de Navia. Para ello, fue necesario el acopio de material perteneciente a antiguos estudios geotécnicos de las edificaciones de la villa y jornadas de campo para extender el conocimiento a sus alrededores, integrando todo este material en una base de datos digital para así poder realizar futuras consultas y posibles ampliaciones.

Durante el trabajo, se han realizado consideraciones importantes en la metodología para la realización y organización de dicho trabajo. También en los resultados, además de realizar una síntesis de los mismos, se consideran algunas características derivadas a partir de estos. A continuación se muestran las aportaciones más relevantes.

4.1. Metodología general

La primera fase se llevó a cabo mediante la adquisición de la información geológico-geotécnica disponible sobre el subsuelo de Navia, que consistieron en la adquisición de 17 documentos o informes geotécnicos para su posterior revisión exhaustiva. La primera dificultad que se encontró fue el déficit de información existente y la amplia extensión geográfica de los estudios.

La segunda fase consistió en la realización de trabajos de campo con el fin de identificar y caracterizar en la medida de lo posible los materiales que se disponen en las áreas adyacentes a la población, para así poder ampliar el conocimiento geológico-geotécnico de la zona. La gran abundancia de zonas planas, dificultades de acceso a ciertas zonas o la ausencia de cortes en muchas laderas también dificultó el proceso.

La tercera fase fue la del almacenamiento de toda esta información geológico-geotécnica en una base de datos digital formada por archivos geográficos y tablas vinculadas, en un archivo de *geodatabase*, georreferenciando y proyectando los archivos geográficos creados en un sistema de coordenadas previamente determinado. También se georreferenciaron ciertos archivos añadidos a la base de datos, tales como mapas de ordenación urbana que carecían de coordenadas (X, Y, Z) para su posterior proyección en dicho sistema de coordenadas. Para añadir toda esta información a la base de datos fue necesaria la realización de una codificación alfanumérica que sirvió para organizar y vincular los datos entre sí. Durante su desarrollo se incorporó la información proveniente de 30 sondeos geotécnicos, 17 ensayos de penetración dinámica, 3 calicatas y 24 puntos de reconocimiento en afloramientos de campo. A esto se suman 99 pruebas de penetración estándar SPT y 67 muestras de laboratorio ensayadas, proporcionando alrededor de 354 parámetros geotécnicos. En total, la base de datos cuenta con 255 código alfanuméricos registrados.

4.2. Propiedades de los materiales

A través del análisis de los parámetros obtenidos en campo y estadístico y cualitativo de los obtenidos en el laboratorio, se aportan una relación de resultados referidos a las propiedades físicas y geomecánicas de las formaciones superficiales y el sustrato rocoso del subsuelo de Navia. En este trabajo se ha puesto de manifiesto como se distingue entre suelo y roca en base a criterios interpretativos como el grado de alteración, o cuantitativos como la resistencia a la compresión.

Se ha determinado la existencia de ocho unidades geotécnicas diferentes entre sí en cuanto a composición y distribución:

Rellenos antrópicos formados por materiales muy heterogéneos a lo largo de toda la llanura y con una gran variabilidad en sus propiedades mecánicas y espesores debido a su composición y grado de compactación.

Coluviones principalmente cuarcíticos situados sobre las laderas, formados en parte por la desestabilización de los depósitos de “rasa” marina desde zonas elevadas y parte por alteración del sustrato rocoso, se ha identificado mediante trabajo de campo que presentan una matriz arcillosa que varía en función del grado de antropización de la zona, presentando resultados distintos de cohesión y compacidad así como aspecto general.

Eluviales formados por cantidades variables de arcillas y fragmentos de pizarras producto de la alteración del sustrato rocoso a un grado superior a IV en los que la plasticidad es baja o nula aún estando formados por importantes cantidades de arcillas. Se establece que aparecen tanto a diferentes profundidades en el subsuelo como bajo formaciones permeables en superficie y presentan espesores muy variados.

Depósitos sobre la llanura que constituyen los principales materiales del subsuelo de Navia y sobre los que más hincapié se ha puesto a la hora de caracterizar los materiales. Se componen de limos y arcillas, arenas limosas y niveles de gravas basales con matriz areno-limosa, todos ellos en general considerados como materiales “muy flojos” a “medios” o “muy blandos” a “blandos”, con escasa capacidad portante, aumentando ligeramente esta característica con la profundidad; clasificados en su mayoría como suelos finos debido a la gran abundancia de este tamaño de grano que, generalmente no presentan plasticidad o esta es muy baja, al igual que la expansividad. En el norte de la llanura los espesores presentan un gran desarrollo, siendo en general superiores a 30 metros sin alcanzarse el sustrato rocoso, mientras que en el sur no superan los 20 metros hasta alcanzar el sustrato rocoso, presentándose en general con una componente de tamaño de grano más gruesa debido a alternancias entre las arenas limosas y las gravas limo-arenosas.

Terrazas fluviales localizadas sobre el sustrato rocoso en las laderas y en el pueblo, se determina que están formadas por depósitos conglomeráticos de cantos fundamentalmente cuarcíticos, con una matriz areno-limosa con baja cohesión y

compacidad media. Gracias a algunos estudios existentes sobre estos depósitos, que no superan los 2,5 metros de espesor, se puede interpretar que presentan un gran contenido en materiales granulares, fundamentalmente en gravas; no presentan plasticidad. Se clasifican como suelos SM/A-4.

Sedimentos de “rasa” situados en zonas planas elevadas con un espesor intuido no superior a 2 metros, se componen de cantos cuarcíticos sobre una matriz limosa de cohesión generalmente baja y alta compacidad que presenta, según estudios previos, una gran abundancia de finos en la misma con respecto a la del resto de materiales conglomeráticos. Estos materiales no presentan plasticidad y se clasifican como SM/A-4.

Depósitos de arroyos restringidos a ciertas zonas de vaguada, se trata de materiales con ligeramente baja cohesión y compacidad, formados por un amplio rango de gravas y arenas, siendo menor el contenido en finos. También son clasificados como SM/A-4.

Sustrato rocoso correspondiente a la Fm. Pizarras de Luarca, formado por pizarras oscuras o grises con una fuerte foliación desarrollada que genera planos principales de fractura. Se encuentra alterado a grado II-III (ISRM, 1981). Su resistencia a la compresión varía entre 11 y 23 MPa aunque depende de la orientación de los esfuerzos. A través del campo se interpreta que presenta varios sistemas de fracturas pero se pueden distinguir 3 familias principales, una subhorizontal y otras dos con un alto ángulo de inclinación. Una de estas últimas es relativamente más inestable que el resto ya que se presenta algunas de sus discontinuidades más abiertas de lo normal y ello condiciona la estabilidad de los taludes.

4.3. Valoración geotécnica

Se considera una ripabilidad elevada de los materiales de la llanura y los depósitos de terrazas y “rasa”, pudiendo ser retirados mediante métodos convencionales, disminuyendo el ángulo de los taludes a medida que pasa el tiempo. Si se excavan grandes profundidades en la llanura se recomienda sostenimiento mediante estructuras.

La solución a la cimentación más adecuada sobre la llanura para edificaciones es la cimentación profunda mediante la hincas de pilotes prefabricados hasta un nivel de gran resistencia o elevada compacidad como son las Pizarras de Luarca o las gravas basales con matriz areno-limosa. Para pequeñas construcciones se pueden aplicar cimentaciones directas sobre niveles conglomeráticos superficiales.

Las aguas freáticas presentan agresividad débil por presencia de cloruros y sulfatos en su composición, por lo que se recomienda usar cementos que resistan este ataque.

Dentro de las soluciones más específicas, se recomienda atender bien a la estanqueidad de las estructuras impermeabilizando contactos y zonas de medianería o considerar la

IV. CONCLUSIONES

posible inyección de resinas y materiales consolidantes para aumentar la capacidad portante de los materiales del subsuelo.

V. BIBLIOGRAFÍA

ARAMBURU, C. Y BASTIDA, F. (EDS.) (1995): Geología de Asturias. Ed. Trea, 308 pp.

BASTIDA, F. Y PULGAR, J.A. (1978): La estructura del Manto de Mondoñedo entre Burela y Tapia de Casariego (Costa Cantábrica, NW de España). Trabajos de Geología, 10: 000-000, Oviedo.

CEDER NAVIA-PORCÍA (s.f.): Demografía del Navia-Porcía: el problema poblacional, 12 pp. Extraído de “Programa Comarcal de Desarrollo Rural Navia-Porcía 2007-2013: Análisis de la situación actual”.

CEDER NAVIA-PORCÍA (s.f.): El medio físico del Navia-Porcía: un paisaje antrópico, 7 pp. Extraído de “Programa Comarcal de Desarrollo Rural Navia-Porcía 2007-2013: Análisis de la situación actual”.

DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS (2010): Estudio previo de terrenos. Itinerario Autovía del Cantábrico: tramo Ribadeo-Baamonde. Ministerio de Fomento, 170 pp.

FARIAS ARQUER, P., LÓPEZ FRENÁNDEZ, C. Y VALDERRÁBANO LUQUE, J. (2008): Itinerarios por la naturaleza: la costa occidental asturiana, 65 pp.

FLOR, G. (1983): Las rasas asturianas: ensayo de correlación y emplazamiento. Trabajos de Geología, Universidad de Oviedo, 13, 65-81.

GONZÁLEZ DE VALLEJO, L.I., FERRER, M. ORTUÑO, L. Y OTEO, C. (2002): Ingeniería Geológica. Ed. Pearson Education, Madrid, 744 pp.

GOZALO, R. Y LIÑÁN, E. (1988): Los materiales hercínicos de la Cordillera Ibérica en el contexto del macizo ibérico. Estudios geológicos, 44, 399-404.

GUTIÉRREZ CLAVEROL, M. ET AL. (2008): Procesos y productos de alteración de formaciones rocosas en Asturias y su repercusión socio-económica. Boletín Geológico y Minero, 119 (2): 211-230 (ISSN: 0366-0176).

IGME (1976): Mapa Geológico de España (MAGNA) a escala 1:50.000, hoja 10 (Ribadeo).

IGME (1976): Mapa Geológico de España (MAGNA) a escala 1:50.000, hoja 11 (Luarca).

JIMÉNEZ SALAS, J.A., Y JUSTO ALPAÑÉS, J.L. DE (1975): Geotecnia y Cimientos I. Propiedades de los suelos y de las rocas. Ed. Rueda, Madrid, 466 pp.

LÓPEZ FERNÁNDEZ, C., ÁLVAREZ PULGAR, F.J., GALLART, J., GONZÁLEZ-CORTINA, J.M., DÍAZ, J. Y RUÍZ, M. (2008): Zonación sismotectónica del NO de la Península Ibérica. Geotemas. Vol. 10. 1031-1034. SGE, Madrid. (ISSN: 1567-5172).

V. BIBLIOGRAFÍA

MARCOS, A. Y PÉREZ ESTAÚN, A. (1981): La estratigrafía de la Serie de los Cabos en la zona de Vegadeo (Zona Asturoccidental-Leonesa, Nw de España). Trabajos de Geología, Universidad de Oviedo, 11, 89-94.

MARCOS, A. (1973): Las series del Paleozoico inferior y la estructura herciniana del Occidente de Asturias (NW de España). Trabajos de Geología, Universidad de Oviedo, 6, 113 pp.

MARTÍNEZ LARGO, J.A. (2014): Desarrollo de una base de datos geológico-geotécnica en la ciudad de Gijón y su implementación en un SIG. Tesis Fin de Máster (inédita), Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, 79 pp.

MENÉNDEZ DUARTE, R. (2002): Cartografía temática Ambiental de Asturias. Mapa litológico. Escala 1:25.000. Hoja nº. 11-III "Navia-III". INDUROT, Universidad de Oviedo.

MINISTERIO DE LA VIVIENDA (2006): Código técnico de la Edificación (CTE). Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo. Publicado en BOE de 28 de marzo de 2006.

PANDO GONZÁLEZ, L.A. (2012): Aplicaciones geológico-geotécnicas de un SIG en el núcleo urbano de Oviedo. Tesis Doctoral (inédita), Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, 257 pp.

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 (ISSN: 0366-0176).

PARQUE HISTÓRICO DEL NAVIA. <http://www.parquehistorico.org/> (acceso 23 de enero de 2015).

APÉNDICE

Siglas y acrónimos

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i> (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transporte).
AEMET	Agencia Española de Meteorología.
CD	<i>Consolidated Drained</i> (condiciones consolidadas y drenadas en el ensayo de corte directo).
CL	<i>Low-plasticity clay</i> (arcilla de baja plasticidad).
CTE	Código Técnico de la Edificación.
DME	Departamento de Medio Ambiente.
DPSH	<i>Dynamic Probing Super Heavy</i> (Penetrómetro Dinámico Superpesado).
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i> .
ETRS89	<i>European Terrestrial Reference System (1989)</i> . Sistema de Referencia Geodésico Europeo.
GC	<i>Clayey gravel</i> (grava arcillosa).
GIS	<i>Geographic Information System</i> .
GM	<i>Silty gravel</i> (grava limosa).
IGME	Instituto Geológico Minero Español.
IGN	Instituto Geográfico Nacional.
INDUROT	Instituto de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio.
INE	Instituto Nacional de Estadística.
ISRM	<i>International Society for Rock Mechanics</i> (Asociación Internacional de Mecánica de Rocas).
MDE	Modelo Digital de Elevaciones.
MDT	Modelo Digital del terreno.
ML	<i>Low-plasticity silt</i> (Limo de baja plasticidad).
M.O.	Materia orgánica.

NCSE-02	Norma de Construcción Sismorresistente.
NE	Noreste.
N.P.	Nivel piezométrico.
NW	Noroeste.
OL	<i>Low-plasticity organic soil</i> (suelo orgánico de baja plasticidad).
PGOU	Plan General de Ordenación Urbana.
PNOA	Plan Nacional de Ortofotografía Aérea.
RMR	<i>Rock Mass Rating</i> .
RQD	<i>Rock Quality Designation</i> .
SC	<i>Clavey sand</i> (arena arcillosa).
SE	Sureste.
SIG	Sistema de Información Geográfica.
SITPA	Sistema de Información Territorial del Principado de Asturias.
SM	<i>Silty sand</i> (arena limosa).
SP	<i>Poorly-graded sand</i> (arena pobremente gradada).
SPT	<i>Standard Penetration Test</i> (Ensayo de Penetración Estándar).
SW	Suroeste.
TI	Tecnologías de la Información.
UNE	Una Norma Española.
USCS	<i>Unified Soil Classification System</i> (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i> (Sistema de Coordenadas Universal Transversal Mercator).
UU	<i>Unconsolidated Undrained</i> (condiciones sin consolidación y sin drenaje en el ensayo de corte directo).

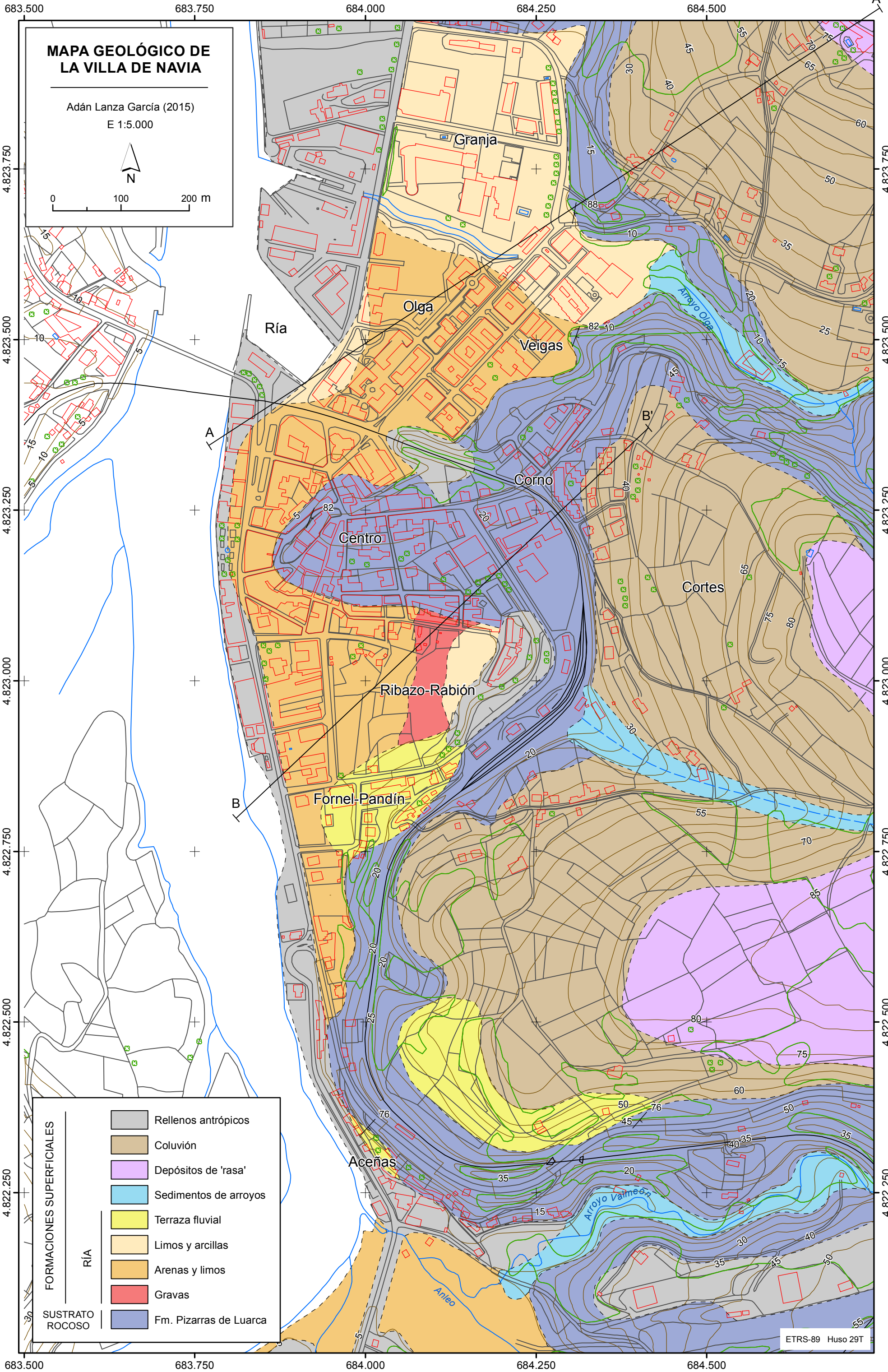
ANEXO I: Mapa geológico de la villa de Navia (1:5.000)

MAPA GEOLÓGICO DE LA VILLA DE NAVIA

Adán Lanza García (2015)
E 1:5.000



0 100 200 m



FORMACIONES SUPERFICIALES

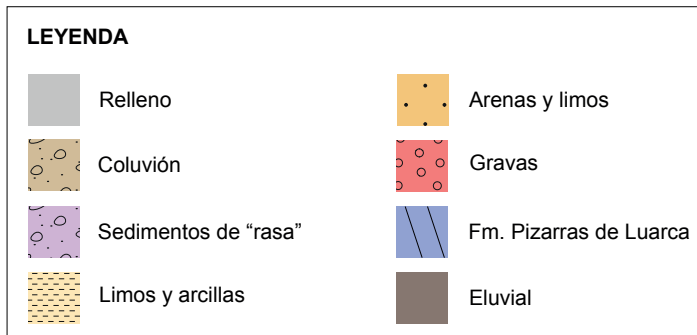
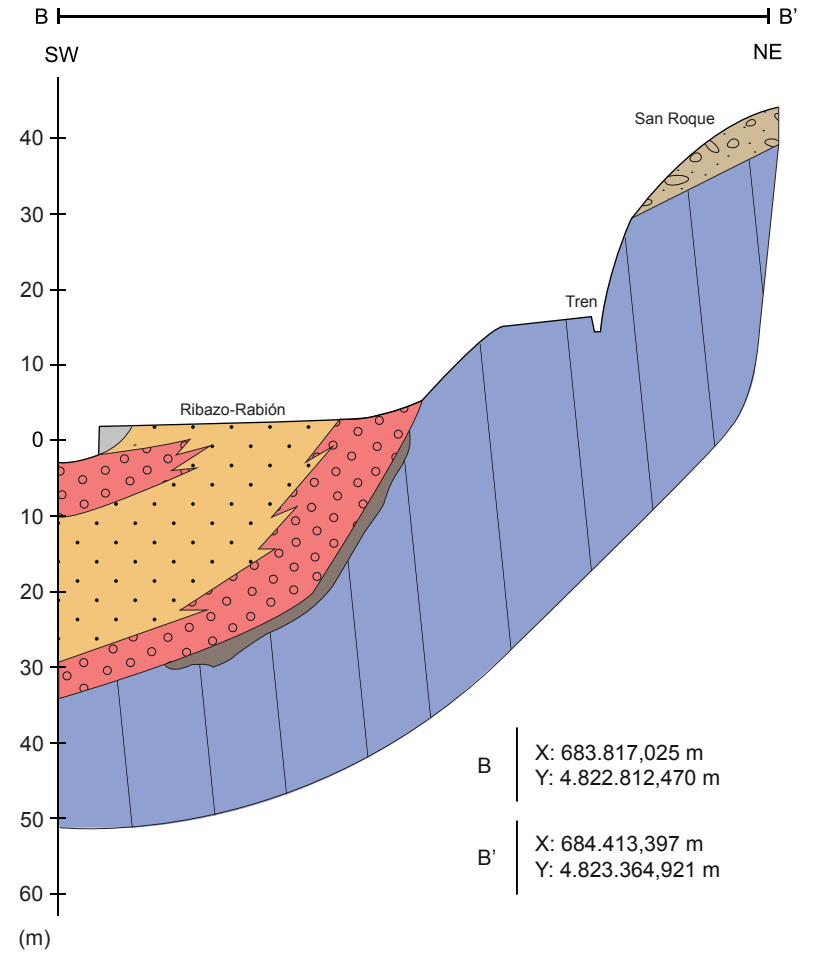
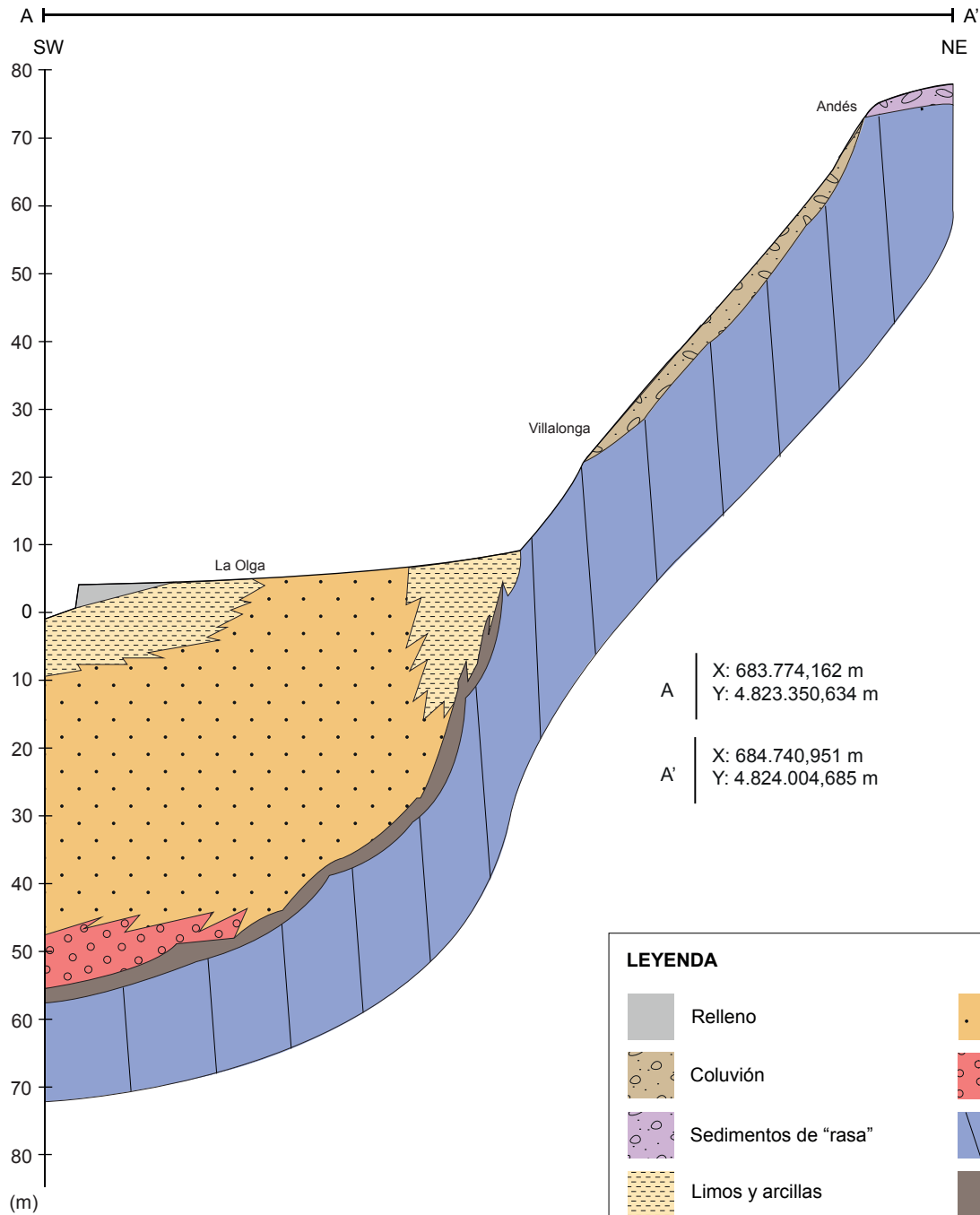
RÍA

-  Rellenos antrópicos
-  Coluvión
-  Depósitos de 'rasa'
-  Sedimentos de arroyos
-  Terraza fluvial
-  Limos y arcillas
-  Arenas y limos
-  Gravas

SUSTRATO ROCOSO

-  Fm. Pizarras de Luarca

ANEXO II: Cortes geológicos (E.H. 1:5.000; E.V. 1:1.000)



E. H. 1:5.000
E. V. 1:1.000

ANEXO III: Estadillos RMR realizados en trabajos de campo.

Estación	Resistencia de la roca intacta (Mpa)							R.Q.D.				
	> 250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	5-25 (2)	1-5 (1)	< 1 (0)	90-100 % (20)	75-90 % (17)	50-75 % (13)	25-50 % (8)	< 25 % (3)
1					X							X
2					X						X	
3					X						X	
6					X						X	
7					X						X	
8					X						X	
9					X						X	
11					X						X	
16					X						X	
17					X						X	
18					X						X	
19					X						X	
21					X						X	
22					X						X	
24					X						X	

Agua					Longitud de las discontinuidades (m)				
Seco (15)	Manchas (10)	Muy húm (7)	Goteo (4)	Fluj. Agua (0)	< 1 (6)	1-3 (4)	3-10 (2)	10-20 (1)	> 21 (0)
		X				X			
		X				X			
	X					X			
							X		
	X						X		
							X		
	X						X		
	X								
	X								
	X								
	X								
	X								
X						X			

Relleno				Meteorización			
Ninguno (6)	F. Rell. (4)	F. Rell. >5 (2)	S. Rell. (2)	No met. (6)	S. Met. (5)	Mod. Met. (3)	A. Met. (1)
X			X			X	X
			X		X		
			X		X		
X					X		
X					X		
X			X			X	
					X		
X	X			X	X		
			X				
			X		X		
			X			X	
			X			X	
			X			X	
			X			X	

Orientación rumbo y buzamiento de discontinuidades (taludes)						Valor total RMR				
M. Fav. (0)	Fav. (-5)	Reg. (-25)	Desfav. (-50)	M. Desf. (-60)	RMR Valor	81-100 (I)	61-80 (II)	41-60 (III)	21-40 (IV)	< 20 (V)
	X	X			6					X
					40				X	
		X			23				X	
			X		23				X	
			X		14					X
		X			27				X	
			X		27				X	
	X				46			X		
	X				50			X		
			X		16					X
					48			X		
X					50			X		
X					48			X		
		X			14					X
	X				46			X		