



Universidad de Oviedo  
*Universidá d'Uviéu*  
*University of Oviedo*



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

MÁSTER EN RECURSOS GEOLÓGICOS E INGENIERÍA GEOLÓGICA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

# INTRODUCCIÓN A LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE LA FM. GIJÓN EN EL ENTORNO DE LA CIUDAD DE GIJÓN (ASTURIAS)

PEDRO ÁLVAREZ ALONSO

JUNIO 2017

---

## Agradecimientos

Quisiera agradecer de forma muy sincera su ayuda a las siguientes personas, sin ellas no hubiese sido posible la realización de este trabajo en la forma que se ha planteado, ni se hubiese logrado que fuese tan completo como creo que se ha logrado que sea:

- A las empresas y profesionales que han cedido información desinteresadamente.
- A Vicente Gómez Ruiz de Argandoña, miembro del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo, por su ayuda para la realización de ensayos en laboratorio en nuestras rocas.
- Al Grupo de Investigación Geocantábrica y a su investigador principal, Sergio Llana Fúnez, de la Universidad de Oviedo, por su ayuda para la realización de láminas delgadas y análisis químicos a nuestras muestras de roca.
- A Beatriz González Fernández, del Departamento de Explotación y Prospección de Minas de la Universidad de Oviedo, por su asesoramiento.
- A Silvia Blanco Ferrera, del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo, por su colaboración logística.
- A Rebeca Álvarez Alonso, meteoróloga parte del Grupo de Investigación Ambiental de la AEMET, por su gran ayuda y asesoramiento en las elaboraciones e interpretaciones cartográficas con GIS.
- A Paula Alfonso Arias, investigadora del Departamento de Psicología de la Universidad de Oviedo, por su asesoramiento formal y su inestimable ayuda durante la ejecución de todo el proyecto.
- A Luis Alberto Pando Gonzalez, del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo, como pieza fundamental para la organización y ejecución de todos los trabajos que se ha llevado a cabo para llegar a completar este proyecto en la forma que se ha hecho.

Gracias a todos.

---

---

# Índice

Resumen .....	3
Abstract .....	4
<b>1.INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....</b>	<b>5</b>
1.1. ANTECEDENTES .....	8
1.1.1. Localización geográfica .....	8
1.1.2. La ciudad y su entorno .....	9
1.2 MARCO GEOLÓGICO .....	14
1.2.1. Generalidades .....	14
1.2.2. Estratigrafía .....	16
1.2.3. Estructura .....	19
1.2.4. Hidrogeología .....	20
1.2.5. Geomorfología .....	21
1.3 MARCO GEOTÉCNICO .....	23
1.1.3. Propiedades geotécnicas .....	23
1.1.4. Distribución espacial .....	24
1.4. OBJETIVOS .....	28
<b>2.METODOLOGÍA .....</b>	<b>29</b>
2.1 REVISIÓN DOCUMENTAL .....	31
2.1.1 Base de datos .....	32
2.2 TRABAJO DE CAMPO .....	35
2.2.1 Componentes del estudio Geomecánico .....	36
2.2.2. Estaciones geomecánicas .....	38
2.3. TRABAJO DE LABORATORIO .....	41
2.3.1. Preparación de las probetas .....	41
2.3.2. Ensayos .....	42
2.4. GABINETE .....	44
<b>3.RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>45</b>
3.1. RECOPIACIÓN DE DATOS .....	46
3.1.1. Densidad seca ( $\rho$ ) .....	46
3.1.2. Resistencia a compresión uniaxial ( $\sigma_{ci}$ ) .....	46
3.1.3. Abrasividad Cerchar .....	47
3.2. CARACTERIZACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS .....	49
3.2.1. Matriz rocosa .....	49
3.2.2. Análisis de discontinuidades .....	49
3.2.3. Densidad de fracturación .....	56
3.2.4. Clasificación de macizos .....	58
3.2.5. Parametrización de macizos .....	60
3.3. CARACTERIZACIÓN DE LABORATORIO .....	64

---

---

3.3.1. Descripción e identificación .....	64
3.3.2. Peso específico .....	67
3.3.3. Rotura bajo carga puntual.....	68
3.4. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA.....	71
3.4.1. Excavabilidad.....	71
3.4.2. Estabilidad de taludes.....	72
3.4.3. Capacidad portante .....	73
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>75</b>
<b>5. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>78</b>
<i>Apéndice</i> .....	81

---

## Resumen

Este Trabajo Fin de Máster, concebido como estudio de investigación, tiene como objeto de estudio la Formación Gijón, una de las unidades geológicas preponderantes en el centro costero asturiano. La principal motivación es crear un documento que sirva de introducción al conocimiento geotécnico de esta unidad. La Fm. Gijón conforma el macizo rocoso competente que sirve de apoyo para la mayoría de edificaciones en el entramado urbano de la ciudad del mismo nombre. Geológicamente es una unidad jurásica, con alternancias de calizas, dolomías, margas y otras litologías de componente carbonatado. La unidad está recubierta por diferentes formaciones jurásicas en otras zonas, pero en el entorno de Gijón por encima se sitúan depósitos litorales, y especialmente un nivel de suelos resultado de la disolución de la propia formación.

Desde el punto de vista geotécnico estos materiales de alteración sí han sido objeto de investigación. Sin embargo el sustrato rocoso de la Fm. Gijón no ha acaparado demasiado interés, pese a constituir un habitual nivel de cimentación. Así, esta investigación afronta un estudio preliminar de enfoque geotécnico de los términos rocosos de la unidad. Para ello se recurre en primer lugar a una revisión bibliográfica de antecedentes sobre sus parámetros geotécnicos, y posteriormente se realiza trabajo de campo y laboratorio para caracterizar los materiales rocosos a escala de macizo rocoso y roca matriz. Aplicando las clasificaciones geomecánicas más utilizadas se han investigado diferentes calidades de macizo dentro de la formación, y han podido obtenerse algunos parámetros de laboratorio de la rocas muestreadas. Todo ello siguiendo una metodología que se puede reproducir en posteriores trabajos de mayor detalle.

---

## Abstract

This Master Final Project, conceived as a research study, has the Gijón Formation as its main objective of study, one of the predominant geological units in the center of the Asturian coastal. The main motivation is to create a document that could serve as an introduction to the geotechnical knowledge of this unit. The Fm. Gijón forms the rocky massif that serves as support for most of the buildings in the urban framework of the city of the same name. Geologically it is a Jurassic unit, with alternations of limestones, dolomites, marls and other lithologies of carbonated components. The unit is covered by different Jurassic formations in other areas, but in the surroundings of Gijón above the levels of coastal deposits, and especially by a level of soils resulting from the dissolution of the formation itself.

From the geotechnical point of view, these alteration materials have been the object of investigation several times in the past. However, the rocky substrate of the Fm. Gijón has not attracted too much interest, despite its usual level of main support for foundations. Thus, this research faces a preliminary study of the geotechnical approach of the rocky components of the unit. For this purpose, a bibliographic review of the geotechnical parameters is developed at first, and later the field and laboratory work is carried out to characterize the rocky materials at the scale of rock mass and matrix rock. Applying the most used geomechanical classifications it has been investigated different qualities of mass within the formation, and it has been able to obtain some laboratory parameters of the rocks sampled. Everything follows a methodology that could be reproduced in later works looking for more detail.

---

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Este documento constituye la memoria de un Trabajo Fin de Máster correspondiente al Máster Universitario Oficial en Recursos Geológicos e Ingeniería Geológica que imparte la Facultad de Geología de la Universidad de Oviedo. A lo largo del mismo se realizará un estudio introductorio sobre propiedades geotécnicas de la llamada Formación Gijón, subsuelo carbonatado muy presente en la propia ciudad de Gijón, su concejo y otros municipios cercanos. Precisamente por ello es una unidad con frecuencia prospectada y sus materiales ensayados en estudios geotécnicos pero, a pesar de que algunos estudios recogen información al respecto (p.ej., parámetros de ensayos tabulados), no existen publicaciones de investigación que traten específica y detalladamente las propiedades geotécnicas generales que la caracterizan.

Hasta la actualidad la Formación Gijón ha sido estudiada en medida comparable a la mayor parte de la geología asturiana fuera de las zonas de interés económico vinculado a minería. Así, las investigaciones se han centrado en aspectos como su ámbito de distribución (cartografía), la definición estratigráfica de los materiales que constituyen la formación, o su papel como unidad permeable y por tanto capaz de funcionar como acuífero. En este sentido el avance en su conocimiento ha sido en general simultáneo con el del resto de la cuenca mesozoica que compone el litoral centro-oriental asturiano.

Durante la segunda mitad del siglo XX una relativamente nueva disciplina a medio camino entre la geología y la ingeniería experimentó un gran desarrollo: la Geotecnia. Existe un gran valor económico en conocer de forma precisa la interacción que se produce entre las estructuras construidas por el hombre, uniformes y definidas antes de construirse, y el subsuelo, cambiante y no siempre predecible.

Dicho conocimiento es el que aporta la Geotecnia, estando directamente relacionada con la sistematización de los métodos constructivos. Por ello se puede afirmar que, a diferencia de otras ramas o especialidades, esta ha sido desarrollada directamente por la necesidad, en contraposición con las disciplinas más clásicas, que aunque también tienen aplicaciones prácticas que les dan su razón de ser, históricamente han avanzado a partir de la curiosidad de las personas por conocer el mundo que les rodea. La Geotecnia además se relaciona directamente con otras disciplinas aplicadas surgidas del mundo de la ingeniería, como la Mecánica de Suelos o la Teoría de Estructuras aplicada al estudio de las cimentaciones.

En el contexto de necesidad, permanente, de caracterización geotécnica de los terrenos, es beneficioso que existan trabajos de síntesis sobre las unidades litoestratigráficas; estudios donde se recojan parámetros geotécnicos o propiedades que las caractericen dotados de

---

cierta representatividad, si es posible complementados con análisis del comportamiento preliminar de los materiales frente a actuaciones como la excavación de taludes o la construcción de cimentaciones. Sin que estos documentos sean sustitutivos de otras investigaciones de detalle, siempre es conveniente disponer de antecedentes para su uso como referencia bibliográfica durante las prospecciones del terreno previas a puesta en marcha de proyectos constructivos tanto de ingeniería civil como edificación.

Hilando con el punto anterior surge la investigación que recoge esta memoria. Su motivación es dotar de un soporte básico a parte del conocimiento disperso que se ha ido desarrollando a lo largo de los años respecto a las propiedades geotécnicas de la Fm. Gijón. Se trata no obstante de un estudio con alcance introductorio, dotado de la 'profundidad' que ha permitido la dedicación al Trabajo Fin de Máster, y por tanto con la ambición justa. La elaboración de una caracterización de calado sería inabarcable en el marco de un trabajo académico como el citado, ya sólo por la extensión que presenta la unidad y la significativa variabilidad litológica, y por tanto el cuantioso volumen de datos que sería necesario gestionar para lograr una sinopsis geotécnica completa. Así, el propósito inmediato es comenzar dando unos primeros pasos, coherentes al menos en lo metodológico y a la espera de que ulteriores trabajos continúen con la tarea.

El hecho de que este trabajo caracterice la Formación Gijón en la ciudad homónima y sus alrededores se justifica por constituir la práctica totalidad del sustrato rocoso del subsuelo urbano. Estas rocas están presentes en la mayor parte de los barrios de la ciudad y configuran el apoyo de la generalidad de los edificios que no están situados sobre suelo (geotécnicamente hablando), bien sea de forma directa o a través de cimentaciones profundas. Además es una formación interesante por la considerable potencia que alcanza el producto de alteración originado por su disolución; una cobertera eluvial que la recubre ampliamente, y que hasta ahora sí que ha despertado interés técnico e investigador habida cuenta de su gran extensión y sus deficientes propiedades mecánicas, responsables de diversos problemas geotécnicos acontecidos en la ciudad.

Este trabajo ha sido elaborado a partir de información documental recopilada y revisada, principalmente informes geotécnicos (cedidos bajo compromiso de confidencialidad), prestándose especial atención a los ensayos de campo y laboratorio realizados sobre la formación objeto de estudio. Esto se ha complementado con trabajo de campo encaminado a la caracterización in situ de macizos rocosos en diversos emplazamientos, siguiendo la práctica habitual de levantamiento de estaciones geomecánicas. Por otro lado, se ha llevado a cabo una labor de caracterización en laboratorio de roca matriz en varias muestras



---

tomadas en campo empleando las instalaciones y medios técnicos del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo.

Finalmente, tras la adecuada integración y análisis de todos los datos en gabinete e incorporada otra información, se ha elaborado la presente memoria que sintetiza el desarrollo de la investigación. Su estructura responde al esquema habitual de los textos científicos; el primer capítulo introduce el estado de conocimiento sobre la Fm. Gijón en lo que refiere eminentemente a su contexto geológico, y se fijan los objetivos del trabajo; en el segundo se detalla la metodología empleada durante la investigación, procurando que como corresponde los procedimientos sean reproducibles; el tercero reúne todos los resultados obtenidos, la discusión que genera su análisis y diversas consideraciones que derivan de ello; posteriormente se presentan las conclusiones de la investigación, y como apartado final se presenta el listado de referencias bibliográficas consultadas.

---

## 1.1. Antecedentes

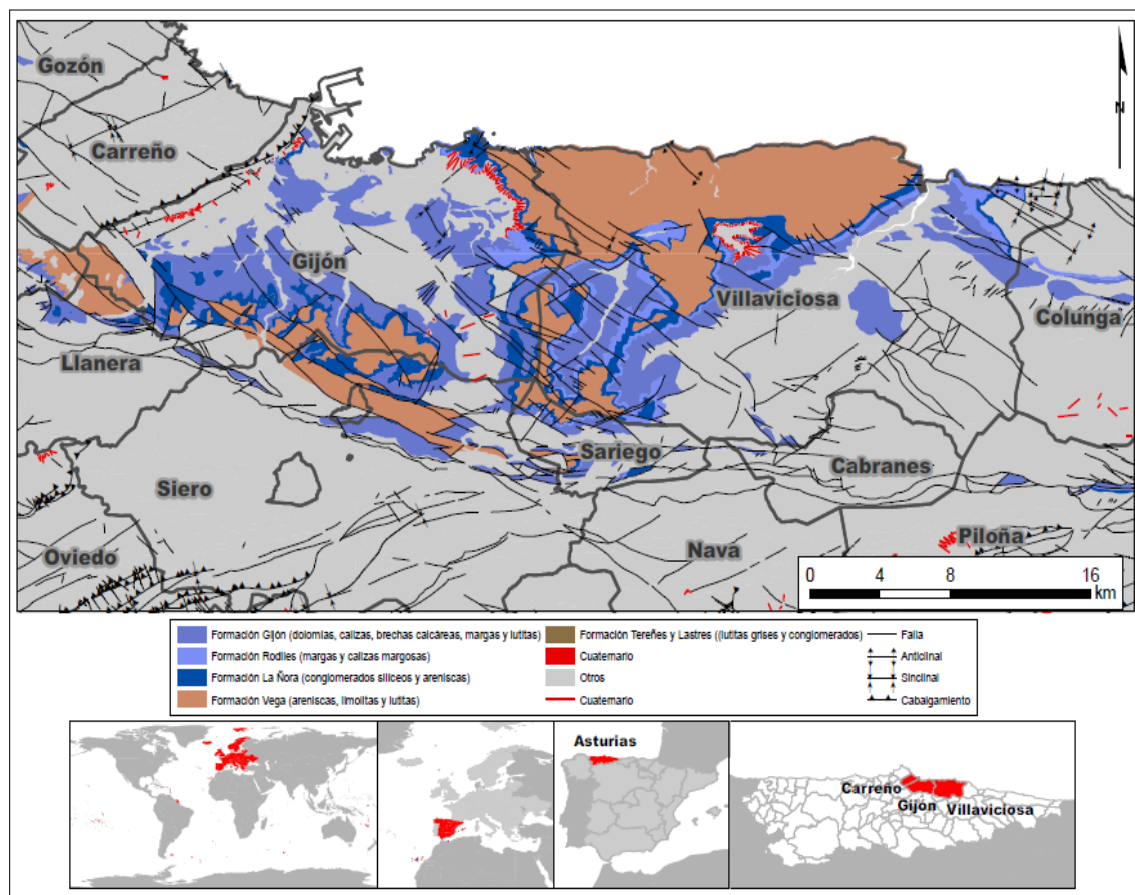
Puede considerarse el desarrollo de la ciudad de Gijón como uno de los mecanismos impulsores del conocimiento de la formación que lleva su nombre. Tanto las necesidades constructivas en ingeniería civil, como la cada vez mayor importancia del conocimiento completo del subsuelo de los entornos urbanos por el gran desarrollo de las construcciones subterráneas de todo tipo, garajes, construcciones cada vez voluminosas y con mayores necesidades de cimentación, conducciones enterradas, etc., han hecho que, en el caso de Gijón, este conocimiento pueda ser considerado como una necesidad permanente.

En este subapartado se explicarán de forma breve tanto las generalidades geográficas y sociales de la zona de estudio, sobre todo las que tienen que ver con el crecimiento urbano y las necesidades constructivas que ha tenido a lo largo de los últimos años, así como el diferente conocimiento que se ha ido acumulando en el tiempo sobre la Formación Gijón. También se realizará una breve reseña sobre la cartografía geológica-geotécnica existente hasta la fecha.

### 1.1.1. Localización geográfica

La Formación Gijón conforma buena parte del sustrato rocoso carbonatado en la costa centro-oriental asturiana. En un contexto geológico amplio se sitúa alineada con el resto de la cobertera mesozoica del N peninsular, aunque con una situación muy occidental respecto al resto de la misma (Fig. 1.1). En lo que respecta a su extensión aflorante abarca sobre todo los concejos de Carreño, Gijón y Villaviciosa, siendo la cobertera meso-terciaria en su conjunto significativamente más extensa y llegando hasta la costa del concejo de Llanes y Ribadedeva.

Geográficamente, los afloramientos de la Formación Gijón tienen una disposición Este-Oeste que abarca más de 60 km, buzando ligeramente el conjunto hacia el Este. Hacia el Suroeste, tanto la formación como el resto de la cuenca permotriásica limitan con la conocida como Falla de Ventaniella, zona de ruptura que separa estas formaciones con las del centro de Asturias, paleozoicas con una cobertera meso-terciaria a techo. Hacia el Este limitan con las formaciones paleozoicas que conforman la zona de las sierras costeras del Suevo y el Cuera.



**Figura 1.1.** Distribución aflorante de los carbonatos de la Formación Gijón y otras unidades geológicas en el entorno de la zona de estudio (construcción propia).

### 1.1.2. La ciudad y su entorno

Gijón es la segunda mayor ciudad de la cornisa cantábrica, tan solo superada por Bilbao, y la mayor ciudad de la provincia de Asturias, siendo parte fundamental del entramado urbano que conforman los municipios del área central. El su totalidad el municipio de Gijón tiene una población de 275.735 habitantes a fecha de 1 de enero de 2014, según el Instituto Nacional de Estadística. Más del 90 % de ellos vive en la ciudad, y esta proporción va en aumento a medida que crece la ciudad y la población rural se mantiene o disminuye (Fig. 1.2). El entorno de la ciudad tiene las propiedades típicas del ámbito rural asturiano, condicionado por su cercanía a la costa. Dominado por un clima oceánico y una geomorfología conformada por numerosos valles y montañas, existe gran presencia de agua en el subsuelo, con fenómenos como la karstificación de los macizos calcáreos, así como muchos pequeños arroyos e importantes masas arbóreas.

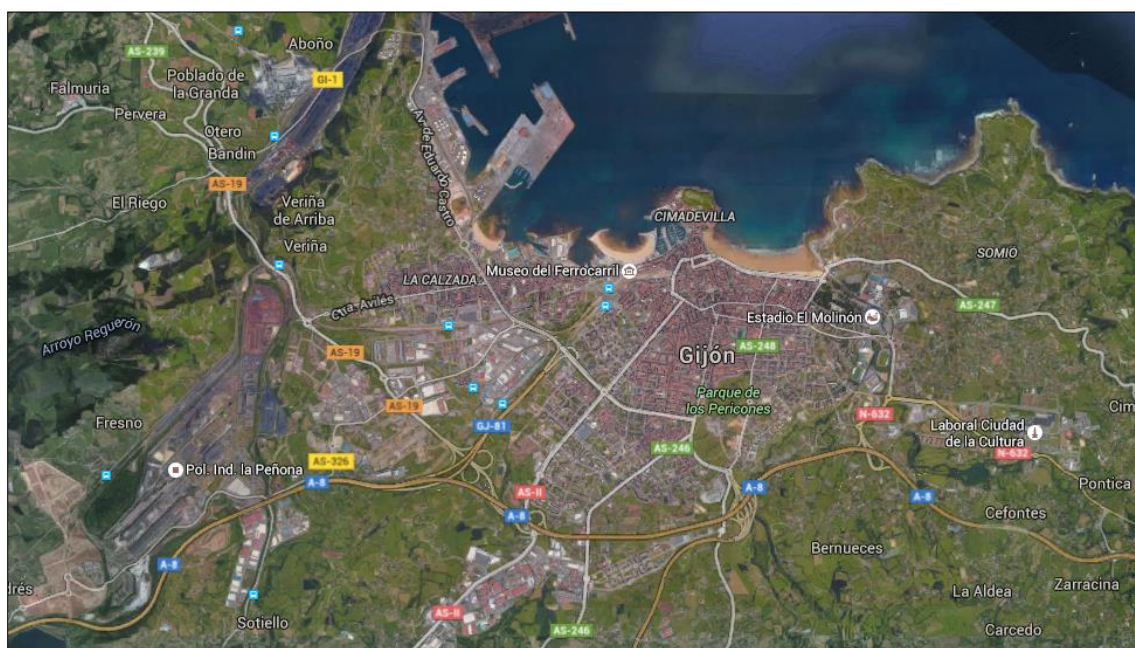


Figura 1.2. Ortofotografía de la ciudad de Gijón (fuente: Google Maps, 2015).

La ciudad ha experimentado un crecimiento sostenido en los últimos años, impulsado fundamentalmente por el periodo de fuerte construcción inmobiliaria, hasta el año 2008, que experimento la sociedad española. A partir de entonces el crecimiento se ha interrumpido, no registrándose, sin embargo, pérdidas de población significativas como ocurre en otros lugares. Esto es así debido a que tradicionalmente Gijón ha sido y es el foco más importante de recepción de población que busca oportunidades laborales ligadas a la industria dentro de Asturias.

Este crecimiento se ha visto reflejado en el aumento del número de barrios de la ciudad. Tradicionalmente se conformó en el entorno del cerro de Santa Catalina y a partir de ahí se extendieron el resto de barrios de la ciudad. Los primeros se situaron justo al Sur del cerro de Santa Catalina. Posteriormente se extendieron hacia el Este, sobre el arenal que existía junto a la playa de San Lorenzo, y hacia el Oeste, teniendo el límite natural de la Campa Torres. En la Figura 1.3 se muestran los distritos y barrios en que la Administración ha organizado oficialmente la ciudad y su entorno inmediato.

#### 1.1.2.1. Barrios

Considerando todo este proceso de desarrollo, a continuación se describen brevemente los barrios más importantes y significativos de la ciudad, teniendo en cuenta las circunstancias en las que se desarrollaron.

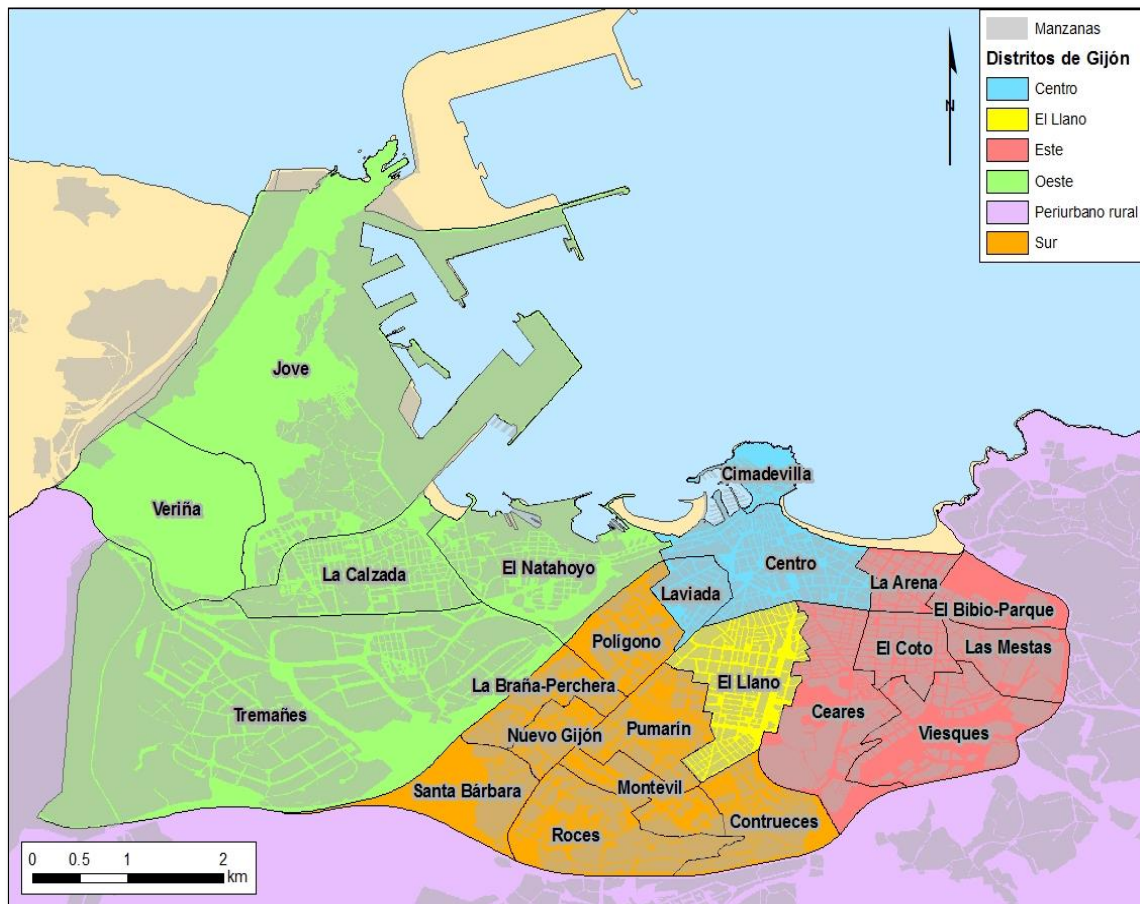


Figura 1.3. Distritos y barrios de la ciudad de Gijón.

### Cimadevilla

Cimadevilla es el núcleo original, a partir del cual se conformó la ciudad que conocemos en la actualidad. Está situada en y justo al Sur del Cerro de Santa Catalina. En el barrio se sitúan los edificios más antiguos de la ciudad, contruidos enteros de piedra, teniendo algunos más de trescientos años y sin que denoten relevantes problemas estructurales derivados de su sostenimiento.

### El Llano y Ceares

Estos dos barrios conforman el núcleo y centro geográfico de la ciudad, siendo el lugar donde se sitúa una mayor proporción de la población. Están situados justo al Sur de Cimadevilla. El subsuelo en estos barrios ya empieza a ser muy cambiante, alternándose zonas situadas sobre roca caliza con zonas situadas sobre que llegan a presentar mucha potencia.

### La Arena

El barrio de La Arena es uno de los más tradicionales de la ciudad. Se desarrolló a finales del siglo XIX en la zona Este del cerro de Santa Catalina, justo pegado a la playa de San

---

Lorenzo. Tiene la peculiaridad de que se situó sobre unos arenales que existían conformando un sistema con dicha playa. Estos arenales, fosilizados, conforman hoy en día el subsuelo del barrio.

#### **El Natahoyo y La Calzada**

Estos son los barrios situados en la zona Oeste de la ciudad. El Natahoyo más cerca del centro y la Calzada, más grande, situado al pie de la Campa Torres, línea montañosa que marca por el oeste el límite natural de la ciudad. Es una zona tradicionalmente industrial donde se sitúa el puerto de ElMusel. Su desarrollo fue simultáneo a la llegada de la revolución industrial a España durante el siglo XIX.

#### **Pumarín, Montevil y Contrueces**

Conforman los primeros barrios hacia los que se extendió la ciudad por el Sur durante la segunda mitad del siglo XX, impulsados por la llegada de trabajadores del sector industrial. Están situados en la pequeña planicie situada tras lo que antes del desarrollo de la ciudad eran los arenales de San Lorenzo. Si bien la topografía es favorable, existen suelos de mucha potencia que han sido objeto de numerosos estudios.

#### **El Coto, Viesques y Somió**

Se sitúan en la zona más hacia el Oeste del entramado urbano, a continuación de los barrios de la Arena y Ceares. Es una zona donde la densidad de edificaciones es menor, siendo una de las últimas zonas en desarrollarse, siendo Somió ya otra parroquia hasta los últimos años considerada rural. La configuración del subsuelo de esta parte de la ciudad está condicionado por la presencia del Río Piles.

#### **Roces y Nuevo Gijón**

Situados en el extremo Sur del entramado urbano, separados en parte como núcleos independientes o como parte de otras parroquias, conforman los barrios más nuevos de la ciudad. Su desarrollo se produjo muy recientemente, sobre todo durante el gran pico que vivió el sector de la construcción inmobiliaria en el país durante la primera década del siglo XXI.

#### **Zona Rural**

En el resto del municipio existe una amplia zona donde el tipo de edificaciones es eminentemente rural, formado por viviendas unifamiliares y algún núcleo pequeño, como La Camocha o Aboño, ambos asociados al desarrollo industrial. El subsuelo en esta zona no presenta los mismos problemas de la ciudad, si no otros más comunes a áreas montañosas de Asturias.

---

### *1.1.2.2. Usos del suelo y su importancia geotécnica*

Bajo otros puntos de vista, Gijón es una ciudad bien asentada como núcleo de comunicación en la región, tanto terrestre como marítima. No es casualidad que sea de nuevo el mayor puerto en cuanto a transporte de gráneles sólidos del NO de España, solo superado por el de Bilbao. Además está comunicado por autopista directamente con las principales ciudades y regiones de España, como son Madrid, a través de Oviedo, Galicia hacia el Oeste, y la zona industria de Santander y Bilbao hacia el Este. Todo esto lleva aparejado unas construcciones y usos del suelo muy solicitantes desde el punto de vista geotécnico.

También es un punto estratégico regional de asentamiento de nuevos modelos económicos y de empresa. A partir de las reconversiones y reducciones industriales de importantes actividades como la siderurgia o la construcción naval, actividades que necesitan mucho terreno, se empezaron a desarrollar actividades sustitutivas centradas en las tecnologías de la información, la gestión o la ingeniería. Empresas necesitadas de oficinas, desarrollándose zonas, como el polígono industrial de Vieques, donde asentarse. Estos nuevos usos del suelo son muy similares a los que demandan las viviendas residenciales.

Por otro lado la Formación Gijón se extiende por una amplia zona que sobrepasa la ciudad que le da nombre. De Este a Oeste por los concejos de Carreño, Gijón y Villaviciosa, formando la cobertera de la costa centro-oriental asturiana. En dichas zonas fuera de la ciudad, el uso que se le da al suelo es fundamentalmente agrario, habiendo pequeños núcleos de población y explotaciones del sector secundario, como canteras, madererías, etc.



---

## 1.2 Marco geológico

En este apartado de introducción se exponen los condicionantes geológicos que definen el contexto en que esta se sitúa, con lo que se lograra una base de partida para comprender las cualidades que la definen. Además, esta caracterización del medio supone una recopilación de toda la información geológica relacionada con nuestro objeto de estudio, con lo que también nos marcará desde donde debemos establecer el alcance y el objetivo del mismo.

En los siguientes subapartados se definen una por una cada una de las partes básicas de las que se compone el conocimiento geológico que se ha desarrollado hasta ahora sobre el contexto de nuestra formación: generalidades, estratigrafía, estructura, hidrogeología y geomorfología. Con ello se estará definido hasta han llegado, hasta la fecha de publicación de este trabajo, los estudios precedentes. Se busca a su vez conocer las interrelaciones que se dan entre cada una de estas partes, con el objeto de tener un conocimiento completo de la formación y su contexto.

### 1.2.1. Generalidades

Dentro del contexto geológico de la Península Ibérica, Asturias forma parte del llamado Macizo Ibérico, subdividido en varias unidades diferentes según su constitución e historia geológica. Los dos sectores ubicados más al norte y que configuran el sustrato asturiano se denominan Zona Cantábrica y Zona Asturoccidental-Leonesa. La zona Cantábrica abarca la Asturias central y oriental y presenta una enorme variación litológica de litologías paleozoicas, con gran desarrollo de las rocas carbonatadas y pizarrosas que muestran numerosos pliegues y fallas inversas, y que dan lugar a fuertes relieves de sierras. Estas elevaciones se encuentran interrumpidas por áreas deprimidas alternantes cerca de la costa.

Por encima de este basamento se encuentran los sedimentos discordantes posteriores a la orogénesis Herciniana, menos deformados, que se distribuyen a modo de cuencas, entre las cuales se destaca la Depresión Mesoterciaria Central de Asturias. Dentro de la misma, se pueden distinguir seis áreas diferentes según los sedimentos presentes en las mismas. Estas son las áreas de Gijón, Villaviciosa, Colunga, Oviedo, Pola de Siero y Nava-Infiesto.

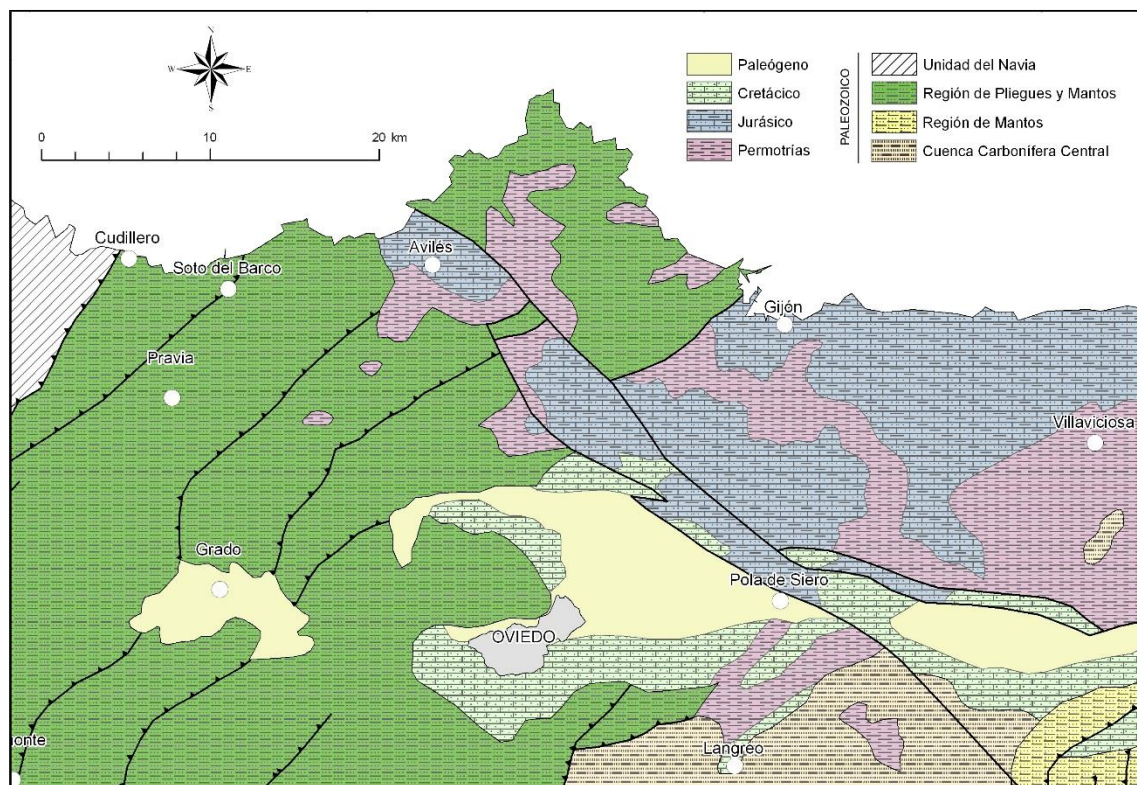
Dentro de la cuenca de Gijón-Villaviciosa, cada una de las formaciones mesozoicas, de más antigua a más moderna, son: Gijón y Rodiles, fundamentalmente de naturaleza carbonatada, y La Ñora-Vega, Tereñes y Lastres, de carácter siliciclástico. La formación Gijón se conoce con ese nombre desde que Valenzuela *et al.* (1986) la definiera junto el resto de componentes que abarcan el litoral mesozoico asturiano. Se enmarca dentro de las formaciones fundamentalmente carbonatadas, de origen marino, que constituyen dicho sustrato mesozoico, desde el Permotrias hasta el Jurásico, componiendo las zonas de rasas

---



costeras del litoral oriental asturiano, desde el concejo de Gozón, pasando por Gijón y hasta el concejo de Villaviciosa.

. La unidad que nos ocupa fue posteriormente dividida por González et al. (2004) en tres subunidades litoestratigráficas: los miembros Superior, Medio e Inferior; describiéndolas y definiendo extensiones aproximadas según los afloramientos que se podían observar en el campo. En la Figura 1.4 se puede observar el basamento mesozoico de la zona de los concejos de Gijón y Villaviciosa, inmerso en un contexto compuesto por formaciones paleozoicas hacia el sur y el oeste asturiano.



**Figura 1.4.** Marco geológico de Gijón (modificado de Aramburu y Bastida, 1995).

Dentro de la cuenca mesozoica, cada una de las formaciones, de antigua a moderna, son: Gijón y Rodiles, fundamentalmente de naturaleza carbonatada y La Ñora-Vega, Tereñes y Lastres, de carácter siliciclástico. La formación Gijón, la que nos ocupa, fue posteriormente dividida por González *et al.* (2004) en tres subunidades litoestratigráficas: el miembro Superior, Medio e Inferior, describiéndolas y definiendo extensiones aproximadas según los afloramientos que se podían observar en el campo.

Dentro del contexto geológico de la Península Ibérica, la provincia de Asturias forma parte de del llamado Macizo Ibérico, situado en la parte noroccidental y subdividido en zonas diferentes según su constitución e historia geológica. Las dos situadas más al norte y que

---

configuran el sustrato asturiano se denominan Zona Cantábrica y Zona Astur Occidental Leonesa. La zona Cantábrica abarca la Asturias central y oriental y presenta una enorme variación litológica de litologías paleozoicas, con gran desarrollo de las rocas carbonatadas y pizarrosas que muestran numerosos pliegues y fallas inversas, y que dan lugar a fuertes relieves de sierras.

Estas elevaciones se encuentran interrumpidas por áreas deprimidas alternantes cerca de la costa. Por encima de este basamento se encuentran los sedimentos discordantes posteriores a la orogénesis Herciniana, menos deformados, que se distribuyen a modo de cuencas, entre las cuales se destaca la Depresión Mesoterciaria Central de Asturias. Dentro de la misma, se pueden distinguir seis áreas diferentes según los sedimentos presentes en las mismas. Estas son las áreas de Gijón, Villaviciosa, Colunga, Oviedo, Pola de Siero y Nava-Infiesto.

Los primeros conocimientos sobre los sedimentos cuaternarios de la bahía de Gijón proceden del trabajo de Martínez Álvarez *et al.* (1967), quienes presentan una cartografía del núcleo urbano y su periferia. Torres Alonso (1971) incluye en su tesis doctoral un esquema geológico y evalúa el comportamiento geomecánico de los distintos tipos de materiales existentes.

Torres *et al.* (1998) cartografían con detalle el casco urbano de Gijón, estableciendo un límite preciso entre los depósitos litorales y el resto de materiales aflorantes. Gutiérrez Claverole *et al.* (2002) realizan un extenso estudio geológico sobre la globalidad del municipio gijonés, prestando una atención especial a los materiales del Cuaternario. Por último, Lharti (2002) y Lhartiet *al.* (2003) concluyen que buena parte del asentamiento de la ciudad está constituido por un relleno costero holoceno, representado tanto estratigráfica como sedimentológicamente por dos sistemas de barrera/estuario superpuestos de la base y otro culminante de playas/dunas que, en conjunto, se generaron en tres fases sucesivas relacionadas con el ascenso relativo del nivel del mar durante el Pleistoceno Superior y Holoceno hasta la trasgresiónflandriense y la progradación final hasta la ocupación antrópica.

### 1.2.2. Estratigrafía

Los materiales comprenden una serie estratigráfica paleozoica, preorogénica y sinorogénica, sobre la que descansa discordante una cobertera mesozoica fundamentalmente jurásica (Gutiérrez Claverole *et al.* 2002). A continuación se deposita una potente secuencia cuaternaria de sedimentos sobre el sustrato rocoso, reconociéndose una secuencia de arcillas de alteración como unidad predominante en todo el subsuelo de Gijón, y a continuación y en función del ambiente circundante y de los procesos geológicos

---

---

dominantes se encuentran los depósitos litorales, de marisma, coluviales y por último los rellenos antrópicos.

#### *1.2.2.1. Formaciones superficiales*

En el casco urbano de Gijón cabe distinguir dos ámbitos o dominios muy bien diferenciados: litoral y continental; su interrelación da lugar a morfologías muy desarrolladas y diferenciadas.

##### **Dominio litoral**

Ocupa la franja septentrional, y está representado por unos sistemas de barrera arenosa/estuario superpuestos; el conjunto se generó durante tres fases sucesivas – separadas por superficies erosivas–, vinculadas al ascenso del nivel del mar durante el Pleistoceno Superior y Holoceno cuya última etapa culminante es posterior a la transgresión flandriense, correspondiendo al sistema de playa/dunas (Flor y Lharti, 2008).

El dominio está representado por la arena de la playa de san Lorenzo y su continuación hacia el interior por el barrio de La Arena. Se extiende hacia el occidente hasta alcanzar la playa de Poniente y hacia el oriente su prolongación natural la constituyen las antiguas marismas de la desembocadura del río Piles.

##### **Dominio continental**

Ocupa una amplia extensión bordeando todo el dominio litoral y, en la mayor parte de los casos, como sedimentos subyacentes a los litorales; está integrado por suelos residuales originados por alteración del sustrato rocoso Jurásico marino, así como depósitos coluviales y aluviales. Hacia el borde meridional del casco urbano se localizan las mayores extensiones de los depósitos de alteración del sustrato rocoso carbonatado, formado entre otros por la Formación Fijón.

Los depósitos de carácter aluvial están representados por los depósitos asociados en el curso fluvial de los ríos Aboño y Piles, y de manera testimonial en los cursos de los ríos Pilón y Cutis. La naturaleza de los materiales en la cuenca del Piles varía a lo largo de su cauce, en el tramo de las antiguas marismas se corresponde a depósitos detríticos finos (arenas y fangos), y hacia su cabecera se produce una reducción de los espesores junto con un cambio en su naturaleza, pasando a estar constituidos por componentes arcillosos de baja plasticidad y con una típica tonalidad rojiza, derivada de la erosión de los terrenos pérmicos (Torres Alonso *et al.* 2003).

---

#### 1.2.2.2. *Sustrato rocoso*

Una buena parte de los dominios descritos se asientan sobre niveles de calizas y calizas dolomíticas con intercalaciones arcillo-margosas de la Fm. Gijón. Únicamente en el borde meridional del entorno metropolitano afloran materiales de edad pérmica y liásica basal, formados por argilitas y lutitas de tonos rojizos con esporádicas intercalaciones areniscosas. De manera puntual, en el tramo de transición a los tramos carbonatados se encuentran niveles yesíferos.

#### Jurásico

Los materiales del sustrato de mayor relevancia son los jurásicos. Un aspecto destacable de esta serie jurásica de los alrededores de Gijón es la acusada variación lateral que presenta el Jurásico tanto en lo referente a litología como a espesor. Con carácter general, Valenzuela *et al.* (1986) y García-Ramos *et al.* (2002) diferenciaron de techo a muro las siguientes formaciones: Lastres, Tereñes, La Ñora-Vega, Rodiles y Gijón (Fig . ). Las tres primeras definen un conjunto continental y terrígeno denominado Grupo Ribadesella, mientras que las restantes conforman un conjunto marino y carbonatado conocido como Grupo Villaviciosa.

Como ya se ha mencionado, (González Fernández *et al.*2004), divide la Fm. Gijón en tres tramos con una serie situada sobre una serie de arcillas grises oscuras, a veces rojizas, con finas intercalaciones dolomíticas y yesos (serie de transición):

- Miembro inferior: predominantemente carbonatado con calizas mudstone y dolomías gris claro bien estratificadas y laminadas, con intercalaciones de margas grises oscuras y a techo brechas de colapso. En el acantilado del cerro de Santa Catalina afloran unos 40 m del techo de este miembro. Se han reconocido evidencias de karstificación.
- Miembro medio: está formado eminentemente por brechas de colapso, margas y lutitas grises oscuras y rojizas, con intercalaciones de poco espesor de yesos, calizas y dolomías. En el entorno de Gijón este miembro se ha identificado en la parte más alta del cerro de Santa Catalina y conforma el sustrato de la playa de San Lorenzo.
- Miembro superior: fuertemente carbonatado, consta de calizas de grano fino, calizas oolíticas, calizas estromatolíticas, y calizas nodulosas y bioclásticas hacia techo. Ocasionalmente aparecen calizas con granos de cuarzo. En la zona de Gijón, estos materiales aparecen por ejemplo en los acantilados de El Rinconín y hacia Deva.

Esta formación ha sufrido una alteración paulatina esencialmente de componente químico, favorecido tanto por las condiciones hidrogeológicas de la cuenca como por los factores climáticos. El resultado de este proceso –desarrollado in situ– ha sido un

importante depósito eluvionar de residuo insoluble y de gran potencia, constituido principalmente por arcillas (López Fernández *et al.* 2008).

### Permotrias

En conjunto, la sucesión alcanza un espesor total de 350-400 metros. El miembro conglomerático basal yace en discordancia con base erosiva sobre el carbonífero, y en la mayor parte de la cuenca, se trata de ortoconglomerados cuarcíticos de cantos redondeados con un tamaño principalmente de 3-4 cm. Alcanza potencias por el Este cercanas a 90 m y adelgaza mucho hacia el SO con alrededor de 12 m.

En tránsito gradual con el miembro anterior se deposita esta secuencia monótona con abundancia de argilitas rojizas, en las que destacan dos niveles de margas negruzcas ricas en materia orgánica. En los sitios donde se preserva sin erosionar supera los 200 m de potencia.

### 1.2.3. Estructura

La estructura del zócalo paleo-mesozoico bajo la ciudad de Gijón se compone de estratos paralelos que tienen un buzamiento suave de 10 – 20° con sentido Noreste (Fig. 1.5). Esto se puede apreciar en el acantilado del cerro de Sta. Catalina, así como en otros acantilados situados hacia la zona Este de la Playa de San Lorenzo. Dicho zócalo mantiene esta estructura desde su afloramiento más occidental al Oeste de la ciudad de Gijón hasta la zona oriental de Villaviciosa. No está afectado por fallas ni pliegues relevantes, y tiene en general una estratificación marcada.

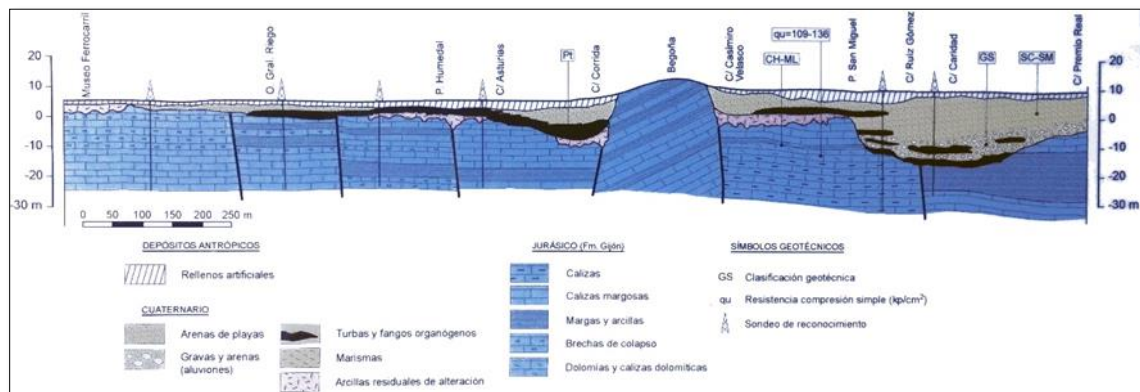


Figura 1.5. Corte geológico atravesando el centro urbano de Gijón (tomado de Gutiérrez Claverol *et al.*, 2002).

. Del resto del concejo de Gijón hay poca información directa dada la escasez de afloramientos. Se sabe que se caracteriza por la existencia de diversos pliegues y cabalgamientos siendo las principales estructuras variscas reconocidas las del Cabalgamiento de Torres-Monte Aro y las detectadas en el Carbonífero, no aflorante, de La Camocha. El cabalgamiento de Torres-Monte Aro está condicionado por un despegue de la serie

---

paleozoica a nivel de las formaciones cámbricas. Su reactivación con posterioridad a la sedimentación de los materiales mesozoicos ha facilitado su posterior levantamiento hasta formar la franja cuarcítica que configura la Campa Torres-Monte Areo. Por su parte el sinclinal de La Camocha pliega el Carbonífero de dicha cuenca; bastante apretado y que parece corresponder a la prolongación del sinclinal del Naranco, situado al norte de Oviedo.

Un rasgo destacado del subsuelo del municipio es la deformación frágil, representada por una importante red de fallas que afectan también al sustrato paleozoico. Se reconocen dos familias principales: la primera familia de fallas con orientación NE-SW o longitudinales, subverticales, de salto pequeño y con bastante desarrollo longitudinal, y afectan tanto a materiales paleozoicos como a mesozoicos. La segunda familia comprende fallas con orientación NW-SE o transversales, con predominio del desplazamiento vertical sobre el horizontal, saltos pequeños, que también afectan a los materiales paleozoicos como a los mesozoicos, desplazando con bastante nitidez a las fallas longitudinales.

Destacan la falla de Granda, la de Pico de Sol, la de Llantonos, la de La Pedrera y La del río Pinzales. Asociadas a la red de fallas y/o fracturación de mayor amplitud, aparece una diaclasación con frecuencia bastante penetrativa que se hace más evidente en las cuarcitas ordovícicas. La familia principal presenta un rumbo NO-SE y buzamientos verticalizados.

#### 1.2.4. Hidrogeología

Las características del concejo de Gijón, con una elevada pluviometría y abundantes litologías permeables, propician el almacenamiento de aguas subterráneas. Por otro lado, el municipio exige una gran demanda hídrica dada a su población (Gutiérrez Claverol et al. 2002). Los acuíferos jurásicos son los más importantes en el concejo, sus límites están definidos al norte por el mar Cantábrico, posterior destinatario del caudal excedente; el linde sur lo constituye la unidad de la franja móvil intermedia, con la que se produce cierta comunicación; y el borde occidental y parte del meridional están por materiales pérmicos que componen un sustrato impermeable.

Desde un punto de vista geográfico, se puede dividir la cuenca jurásica en Asturias en cuatro dominios o sectores con características hidrogeológicas diferenciadas, ocupando el concejo de Gijón el sector de Valle de Caldones-Ría de Villaviciosa (Menéndez Casares et al. 2004). Siguiendo la columna estratigráfica, y en base a sus notorias diferencias litológicas, se definen de muro a techo dos conjuntos acuíferos principales: el inferior posee naturaleza carbonatada, y el superior carácter detrítico. El primero comprende del orden de 120-280 metros de calizas dolomíticas, dolomías y calizas constitutivas de las formaciones Gijón y Rodiles. Aunque sus parámetros hidrogeológicos presentan acusados cambios laterales, consecuencia del grado de densidad de fracturación y karstificación, puntualmente se

---

alcanzan valores elevados en los parámetros de permeabilidad, transmisividad y coeficientes de almacenamiento, confiriendo al acuífero las mayores garantías de explotabilidad. El conjunto superior detrítico, presenta una potente y variada serie litológica constituida por un conglomerado silíceo con lentejones de arenisca (Fm. La Ñora), en el tramo basal, y por areniscas más o menos cementadas de carbonato, así como de algunas intercalaciones de arcillas sobre todo en los tramos suprayacentes (Fm. Lastres/Vega).

La aportación hídrica más destacable que recibe el sistema procede de la infiltración de agua de lluvia y, en menor medida, de la descarga proveniente de cuencas limítrofes. El drenaje de sus excedentes subterráneos se verifica en multitud de manantiales y arroyos. Las fuentes más importantes surgen de los niveles carbonatados del Jurásico y pueden contarse por centenares las captaciones de agua en forma de pozos artesianos y sondeos (GonzálezQuirós, 2011).

#### 1.2.5. Geomorfología

El territorio de la ciudad y sus alrededores se extienden sobre dos cuencas hidrográficas principales: una, la que vierte sus aguas hacia los ríos Pinzales y Aboño, con una superficie de 69 km<sup>2</sup>, en la mitad occidental, y la otra, en la mitad oriental, que converge hacia los ríos Piles y Peña Francia, con una extensión de 74 km<sup>2</sup>. Las dos cuencas forman una densa red de pequeño recorrido y escaso caudal, con una orientación dominante de sur a norte y prácticamente circunscrita a los límites del municipio. Ambas cuencas están separadas por colinas que se suceden de sur a norte por Ruedes, Porceyo, Roces y Pumarín. Solo un 3% de la superficie rebasa los 400 metros de altitud, y su mayoría (un 84 %) está por debajo de la cota de los 200 metros. El desnivel existente entre las máximas cotas y el mar crea un sistema de relieve en el que destaca la escasez de pendientes superiores al treinta por ciento. Se diferencian desde un punto de vista geomorfológico, cuatro zonas:

- La depresión de Gijón, la de mayor extensión, ocupando la mayor parte del concejo, presenta un relieve medianamente llano, con suaves lomas. Está surcada por varios ríos y arroyos de moderada importancia y curso predominantemente norte-sur que nacen, en su mayor parte, en las sierras del sur del concejo de Gijón.
- La zona costera, presenta las siguientes morfologías: estuarios y playas; acantilados, desarrollados sobre diferentes materiales (paleozoicos al oeste y mesozoicos al este), y rellenos antrópicos en las zonas portuarias (El Musel y puerto deportivo).
- La zona de rasas, áreas más o menos llanas, que corresponden a antiguas plataformas de erosión marina. Existen varios niveles de rasa a diferentes alturas,

---

debidos a repetidas fases de levantamiento ocurridos en la costa. Su superficie está erosionada por diversos arroyos.

- La zona montañosa, al sur del concejo. Coincide, a grandes rasgos, con la franja móvil intermedia. Tiene morfología alomada, con formas redondeadas, y con altitudes que oscilan entre los 200 y 600 metros.

Según la clasificación de Marquínez y Farias (1993), que divide Asturias en 9 unidades geomorfológicas, la ciudad de Gijón estaría englobada en la unidad de litoral y rasas costeras. Esta franja se distribuye a lo largo de todo el litoral asturiano, con una anchura variable entre pocos centenares de metros y 5 o 6 km.



---

### 1.3 Marco Geotécnico

Como se ha venido exponiendo la Fm. Gijón es una unidad estudiada desde el punto de vista geológico con distintos enfoques, pero no lo ha sido en igual medida desde el punto de vista geotécnico o geomecánico, entre otros motivos por su menor importancia económica respecto a otras unidades con interés extractivo o con una problemática geotécnica más acusada.

En los siguientes dos subapartados se mencionan y describen los artículos y publicaciones referentes a la geotecnia que describen la formación Gijón. En el primero se compilan los datos y características de la misma, a partir de los artículos que se centran en las propiedades y capacidades habitualmente estudiadas más importantes. En el segundo nos centramos en las publicaciones que han tenido por objetivo definir la distribución espacial de la formación, considerando su potencia en los diferentes puntos de la ciudad.

#### 1.1.3. Propiedades geotécnicas

Entre los primeros trabajos que deben destacarse figura la publicación del “Mapa Geotécnico y de riesgos geológicos de la ciudad de Gijón” (Elizaga y Fresno, 1987), que constituyó una aportación pionera respecto las características geotécnicas del terreno urbano gijonés. Supuso una aproximación interesante a la problemática que plantea el subsuelo a efectos de cimentaciones y de la estabilidad de laderas y taludes.

En relación a los estudios clásicos del jurásico asturiano y sus productos de alteración que se han venido relatando, considerando el desarrollo de la geotecnia como disciplina geológica que experimentó un fuerte crecimiento en nuestro país a partir de los años 90, se comenzaron a estudiar las formaciones desde un punto de vista de material sujeto a tensiones y deformaciones, donde se buscaba conocer las propiedades físicas y mecánicas de las rocas. En este punto la Fm. Gijón ha sido poco estudiada, y sólo algunos trabajos comenzaron no hace demasiado tiempo a recabar y analizar información sobre su comportamiento geomecánico, por ejemplo a través de la recopilación de resultados de ensayos (p.ej., Gutiérrez Claverol et al., 2002).

La relevancia de la Formación Gijón en la geotecnia de obra civil y edificación no es desdeñable, dado que está presente en la mayor parte del subsuelo de la ciudad, siendo este sustrato rocoso, o sus productos de alteración, el nivel sobre el que se apoyan la mayoría de las edificaciones, sobre todo las de nueva construcción, situadas en los barrios nuevos a las afueras de la ciudad; además de haberse excavado estacionamientos subterráneos en estos materiales. A ello se sumó hace pocos años la excavación en Gijón de un túnel suburbano (conocido popularmente como ‘metrotrén’) con cuatro kilómetros de trazado.

---

Con enfoque aplicado han sido publicados trabajos como el de Gutiérrez Claverol et al. (2008), que estudiaron los productos de alteración de las formaciones rocosas en Asturias, considerando entre ellos las que se producen por disolución de la Formación Gijón. Esta unidad ha centrado hasta ahora la atención tanto profesional como investigadora, debido a su extensión, potencia y comprometidas cualidades geotécnicas. Este conocimiento es importante ya que dicho recubrimiento presenta comportamiento plástico y muy poco resistente. Con frecuencia, las presiones de servicio para cimentaciones directas resultan inviables para asegurar un asiento admisible, lo que supone proyectar en muchas obras apoyos estructurales mediante losas y soluciones profundas –pilotes y micropilotes–; en excavaciones es además recurrente la ejecución de pantallas de sostenimiento.

Con otro enfoque pero hilando con la problemática geotécnica que existe en la ciudad, Flor et al. (2008) estudian el recubrimiento costero en el perímetro urbano septentrional, formado por dunas y arenas de playa fosilizadas, que se sitúan bajo un barrio en general pilotado a la unidad que investiga este trabajo con el objetivo de salvar sus escasas propiedades portantes. Las importantes acumulaciones de sedimentos de este dominio que llegan a alcanzar los 25 m, están constituidas fundamentalmente por arenas, entre las que se intercalan gravas en la parte basal y, de manera irregular tanto de espesor como de morfología, niveles de turba. Este conjunto de materiales genera serias deficiencias geotécnicas y un especial cuidado en todo tipo de construcción subterránea, habiendo antecedentes de problemas graves (López-Gayarre et al. (2010).

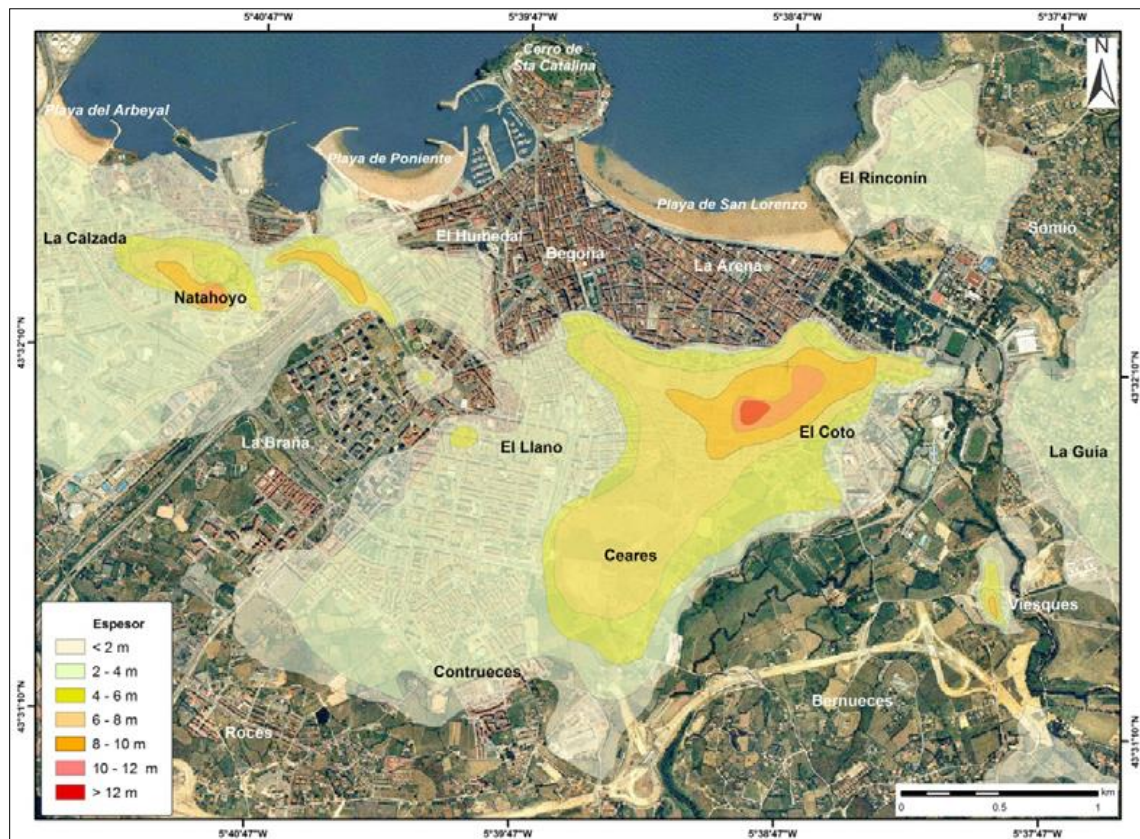
Hay que añadir a la baja capacidad portante el efecto negativo de su parcial saturación en agua, encontrándose niveles freáticos muy próximos a la superficie topográfica (Gutiérrez Claverol et al. 2002). Recientemente Pando et al. (2012) realizan una síntesis de las propiedades geotécnicas del recubrimiento cuaternario de la ciudad de Gijón, incluyendo las arcillas de descalcificación. Aparte de lo expuesto, en el contexto geotécnico urbano no deben obviarse otras unidades importantes por sus malas propiedades geotécnicas; se trata de los aluviones y coluviones. El río Piles, que nace y desemboca enteramente dentro del concejo de Gijón, ha desarrollado suelos típicos de este tipo de río corto y relativamente caudaloso.

#### 1.1.4. Distribución espacial

El conocimiento cartográfico referente a la formación Gijón viene de los primeros mapas sobre la geología de Asturias que se empezaron a realizar con la entrada del siglo XX. Si bien al principio solo se centraban en aquellas zonas con importancia económica debido a los minerales o recursos energéticos, fundamentalmente el carbón, poco a poco se fueron extendiendo al resto de zonas de la región. La cobertera mesozoico-terciaria asturiana tiene

un importante interés académico por sus particulares condiciones respecto al resto del paleozoico asturiano.

En contraste con lo anterior, durante los últimos años se han comenzado a hacer mapas que representen exclusivamente unidades geotécnicas. Una de las aportaciones más significativas es la de López Fernández *et al.* (2006), donde se representan las arcillas formadas por la descalcificación del sustrato calcáreo (Figura 1.6).



**Figura 1.6.** Distribución de isopacas de las arcillas de alteración del sustrato jurásico en la ciudad de Gijón (López Fernández *et al.*, 2006).

En cualquier caso casi siempre se ha tratado de cartografías que por su escala no han conllevado un detalle apreciable en áreas como la aquí estudiada; zonas en que además el limitado acceso a afloramientos ante lo antropizado del relieve complica las observaciones en campo. Afortunadamente, durante los últimos años se han potenciado las investigaciones en entornos urbanos en Asturias (p.ej., Gutiérrez Claverol *et al.*, 2002), aprovechando información procedente de prospecciones geotécnicas para estudiar las unidades que subyacen a los núcleos urbanos, y actualmente empleando de Sistemas de Información Geográfica para el tratamiento de los datos. Una unidad ya estudiada desde el punto de vista de su distribución es la cobertera eluvial (López Fernández *et al.*, 2006). La potencia de estos materiales fluctúa en valores muy arbitrarios, comprendidos normalmente entre 2 y 6

m (Fig. 1.5); los máximos espesores se alcanzan en El Coto –hasta 14 m–, El Llano y El Natahoyo.

Como se ha explicado, la formación Gijón conforma la mayor parte del sustrato rocoso de la ciudad, formando junto con la formación Rodiles el sustrato carbonatado. Por encima se sitúan los productos de alteración, que pueden tener un origen marino o ser producto de la descalcificación de las rocas carbonatadas. Su distribución es variable, tanto en extensión como en potencia.

Esto es así en parte por la gran atención que hasta ahora acapararon los productos de alteración. Recientemente se ha desarrollado un trabajo, Martínez Largo (2014), que desarrolló una cartografía geotécnica del subsuelo de la ciudad de Gijón. En la Figura 1.7 se puede apreciar un mapa que sintetiza el trabajo realizado por Martínez Largo. En ella se aprecian superpuestas tanto las diferentes unidades geotécnicas definidas como el entramado urbano de la ciudad de Gijón:

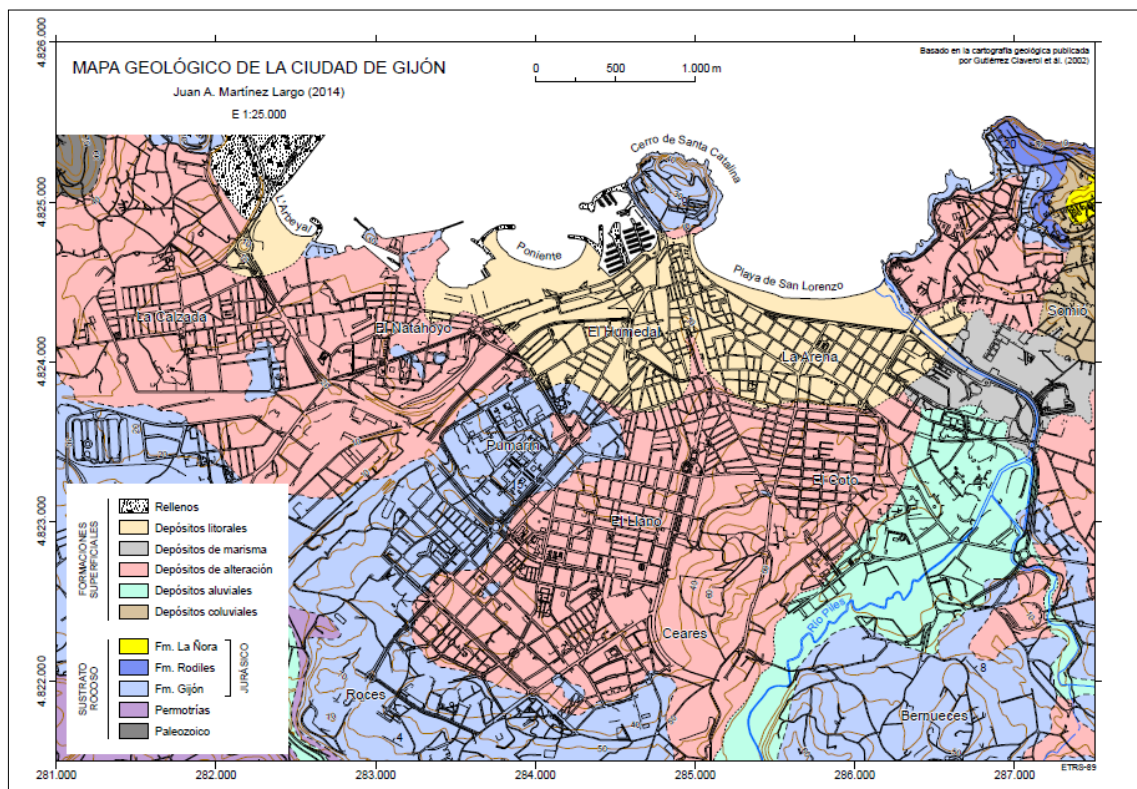


Figura 1.7. Mapa Geológico de la ciudad de Gijón (Martínez Largo, 2014).

Según esta cartografía el subsuelo en El Llano y Ceares contrasta con el afloramiento rocoso del cerro de Santa Catalina, alternándose zonas situadas sobre roca caliza competente con zonas situadas sobre suelos de mucha potencia, afectados además por fuertes cambios en el nivel freático. Por otra parte, junto a San Lorenzo se sitúa La Arena,

---

conformado por arenales fosilizados, normalmente inundados, donde muchas cimentaciones se hicieron mediante pilotes de madera. En cuanto al Natahoyo y la Calzada, el subsuelo está formado de nuevo por formaciones plásticas y que pueden llegar a tener un espesor considerable, extendiéndose hasta el límite occidental que marca el alto de la Campa Torres. En las zonas más alejadas del centro, bajo Pumarín, Montevil, Contrueces o El Coto, en general la topografía es favorable, aunque el sustrato rocoso está recubierto en muchas zonas por suelos muy deficientes desde el punto de vista geotécnico, alcanzando en esta zona sus mayores espesores. En el resto del municipio el subsuelo no presenta los mismos problemas que la ciudad.

En el siguiente subapartado, el 1.4, procederemos a definir los objetivos concretos que se buscan con este trabajo, dando con ello finalizado este apartado de introducción donde nos situamos en el conocimiento obtenido a lo largo sobre el entorno geotécnico de la Formación Gijón y por extensión de la propia ciudad de Gijón. Ya a continuación el siguiente apartado será metodológico, donde expondremos qué se ha hecho y cómo se ha procedido para obtener nuestros resultados.

---

#### 1.4. Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es caracterizar geotécnicamente la Formación Gijón, de forma que se logre una compilación introductoria de sus principales propiedades. Se busca obtener una modesta guía preliminar, para consulta académica, de las principales propiedades que presenta desde el punto de vista geotécnico.

De forma detallada, los objetivos que se buscan para cada una de las partes que conforman nuestro estudio serían:

- Recopilar información relevante sobre la Formación Gijón. En esta parte del estudio tendremos de nuevo dos vertientes de estudio, por un lado sería recopilar toda la información académica, como pueden ser artículos, proyectos o estudios, generada a lo largo del tiempo, y por otro recopilar toda la información generada por los agentes privados, ya sean empresas de construcción, estudios geotécnicos o cualquier tipo de informe privado.
- Estudio de campo de la Formación Gijón. Lo que se busca aquí principalmente es generar un estudio directo y propio de las características geotécnicas medibles en campo. Con ello obtendremos una fuente de información que usaremos como base y criterio para tener un conocimiento directo de como es y que propiedades tiene nuestro macizo rocoso de estudio. Este trabajo en campo también lo usaremos para obtener muestras propias de la formación.
- Realizar ensayos de laboratorio sobre nuestras propias muestras. En esta última parte del estudio lo que buscaremos es obtener unos datos propios de la característica principal de los distintos tipos de matriz rocosa que conforman la Formación Gijón. Estos datos, y los obtenidos en el punto anterior, nos servirán para hacer una comparación con todo lo recopilado en el primer punto, mejorando los datos finales del estudio.

Como objetivo metodológico final es necesario mencionar que se buscará en todo momento respetar y mencionar, siempre que así lo deseen los autores, todas las obras y trabajos previos que han servido de base para nuestra base de datos final. Se tendrá una especial consideración con aquellos trabajos provenientes de entes privados que han asumido un coste económico para la obtención de los mismos y desean colaborar con este proyecto de forma totalmente altruista.

---

## 2. METODOLOGÍA

La metodología concebida para esta investigación implica una secuencia de trabajo coherente con los objetivos perseguidos, ordenada y reproducible, que integra: (a) revisión de antecedentes sobre la zona de estudio (desglosados en primer capítulo de la memoria); (b) revisión de documentos y recopilación de datos geotécnicos; (c) trabajo de campo; (d) trabajo de laboratorio; y (e) análisis y discusión de resultados en gabinete. A continuación, se entra en detalle acerca de las tareas desarrolladas y procedimientos seguidos.

En este apartado se expondrán los métodos y procedimientos que se van a emplear tanto para recabar los datos de análisis necesarios, como para posteriormente tratarlos y normalizarlos con el fin de obtener unas conclusiones y así cumplir los objetivos y el alcance que nos proponemos en este proyecto. Como trabajo científico, se busca detallar todo el proceso seguido de forma que resulte fácilmente reproducible por cualquier persona con interés en el tema tratado.

Centrándonos en la primera parte, los mencionados procedimientos para la obtención de los datos de partida necesarios, son tres diferentes: obtención de datos a partir de bibliografía previa, realización de estaciones geotécnicas in situ en afloramientos de la formación y ejecución de ensayos de laboratorio de muestras tomadas en el campo. Con esta metodología de trabajo obtendremos datos de fuentes diversas, lo que nos proporcionará una muestra más significativa, además de tipos de datos complementarios entre sí.

Para la revisión de la bibliografía utilizaremos documentación procedente fundamentalmente de empresas constructoras privadas, que con el fin de ejecutar trabajos sobre diferentes solares en el entorno de la ciudad de Gijón han realizado estudios geotécnicos previos que abarcan nuestro ámbito de estudio. En este punto es destacable la anteriormente mencionada base de datos creada por Martínez Largo (2014), conseguida gracias a un arduo trabajo de investigación documental. La parte referente a nuestra formación de esta base de datos la utilizaremos, con su permiso, como partida, a la que añadiremos datos procedentes de más estudios.

Finalmente también se procederá a recabar datos directamente en los afloramientos a partir del empleo de métodos de caracterización de los macizos rocosos. Para ello se medirán los parámetros base del macizo, como número de discontinuidades, densidad y dirección de las discontinuidades, presencia de agua, etc., y posteriormente se calcularán los valores que clasifiquen nuestro macizo según las escalas geomecánicas habituales. Estos datos y parámetros calculados complementarán a los datos previamente mencionados, completando la caracterización de nuestra formación de estudio.

---

---

Una vez recopilados todos los datos, el siguiente paso consiste en armonizarlos. Con este paso se busca hacer posible el compararlos entre ellos, dado que proceden de fuentes diversas y tanto el formato como las unidades en las que se presentan pueden variar. También será una forma de facilitar la comprensión del alcance de nuestra información.

El último paso consistirá en utilizar la información anterior para la caracterización de la Formación Gijón de acuerdo a los objetivos del proyecto previamente establecidos. Los datos se usarán de forma combinada, tanto para el cálculo directo de parámetros como para el análisis estadístico, de manera que nos proporcionen los valores de caracterización. A partir de aquí se podrán sacar conclusiones en cuanto a la calidad de la formación como elemento de soporte geotécnico, así como la posible problemática que se presentaría en ese caso.



---

## 2.1 Revisión documental

Como punto de partida para disponer de información orientativa sobre las propiedades y comportamiento geotécnico de los términos rocosos de la Fm. Gijón, se recurrió a la recopilación y revisión de estudios previos que han investigado y ensayado geotécnicamente dicha unidad en el entorno de Gijón. Mayoritariamente se trata de informes geotécnicos para edificación y, en menor medida, obras de ingeniería civil. En este sentido resultó muy útil la valiosa base de datos generada por Martínez Largo (2014). Además de los datos en ella recogidos, se recopiló nueva información por medio de varios informes cedidos por empresas bajo compromiso de confidencialidad y uso exclusivo para investigación. Normalmente estos documentos contienen ensayos de resistencia a compresión simple (en algunos casos con bandas extensométricas para medida de parámetros de deformación), y pruebas de carga puntual o ensayo PLT. Respecto a propiedades índice, lo más habitual es encontrar valores de la densidad de la roca, estimados por el método geométrico en probetas destinadas a rotura en prensa uniaxial.

Recabar e interpretar datos cuya obtención ha sido responsabilidad de terceros conlleva limitaciones implícitas que deben ser tenidas en cuenta, tales como el desconocimiento sobre cómo se ha llevado el muestreo, el estado de meteorización de la roca o la calidad del testigo llevado a laboratorio. La principal de ellas no obstante es lo limitado de la información sobre las muestras ensayadas en cuanto a la identificación litológica. En la práctica habitual de elaboración de estudios geotécnicos no se llevan a cabo descripciones exhaustivas de los materiales (p.ej., textura reconocida en lámina delgada), ni la clasificación de las rocas se apoya en datos composicionales o mineralógicos. Esto suele ocasionar, en el caso sobre todo de litologías como las aquí consideradas, definiciones poco precisas sobre la litología; por lo general se utiliza con mucha mayor frecuencia términos como ‘caliza’ y ‘marga’, y poco otros también correctos petrológicamente (caliza margosa, marga calcárea, lutita margosa, etc.), sin que las distinciones estén confirmadas al menos por un criterio composicional cuantitativo.

Sin embargo, lo anterior no se considera impedimento para desaprovechar esta fuente de información. Aunque al tratar los datos no se pueden separar estrictamente según la litología de origen de la muestra, si se recopilan resultados de ensayos (como aquí se hace) cuya ejecución se llevó a cabo bajo un procedimiento regulado por normativa (mayoritariamente UNE) se asegura una cierta calidad. Estos resultados previa homogeneización de unidades y presentados estadísticamente, son útiles como referencia orientativa de rangos y órdenes de magnitud; algo que por sí mismo es más valioso y representativo que recurrir a tablas genéricas de la bibliografía especializada como se suele actuar cuando se necesita valores numéricos y no se dispone de datos propios; por ejemplo,

---

para estudios a nivel de anteproyecto. Al fin y al cabo, al menos se trata de la misma unidad geológica.

En total se recabaron 49 resultados de ensayos de compresión uniaxial realizados conforme a la norma UNE 22950-1:1990; proceden de muestras (testigo de roca parafinado o no) tomadas a profundidades de entre 3,25 y 20,95 m en 31 sondeos de reconocimiento repartidos por toda la zona de estudio. Como norma general y de acuerdo al criterio mecánico aceptado por la ISRM y diversos autores, se considera 'roca' al material cuya resistencia bajo compresión simple excede 1 MPa; por debajo se considera 'suelo' y queda fuera de la presente investigación. Se dispuso de 2 determinaciones de resistencia a carga puntual ('Franklin') efectuadas bajo norma UNE 22950-5:1996 sobre fragmentos irregulares de caliza dolomítica; sin embargo dada su escasa representatividad no se han valorado a la espera de más datos para posteriores investigaciones. Se suman a lo anterior 9 pruebas de abrasividad Cerchar ejecutadas según la norma NF P94-430-1.

Como se ha mencionado, la revisión documental consiste en buscar y recopilar todos aquellos datos ya generados previamente por otras personas o instituciones, de acuerdo a los objetivos que ha sido planteado. Estas otras entidades pueden ser empresas que han hecho estudios geotécnicos en las diferentes parcelas de la ciudad, como constructoras de viviendas, entidades asociadas a algún organismo público de estudios aplicados, que hacen estudios de interés público como los de tipo hidrogeológico, o centros de investigación científica, como la Facultad de Geología de la Universidad de Oviedo.

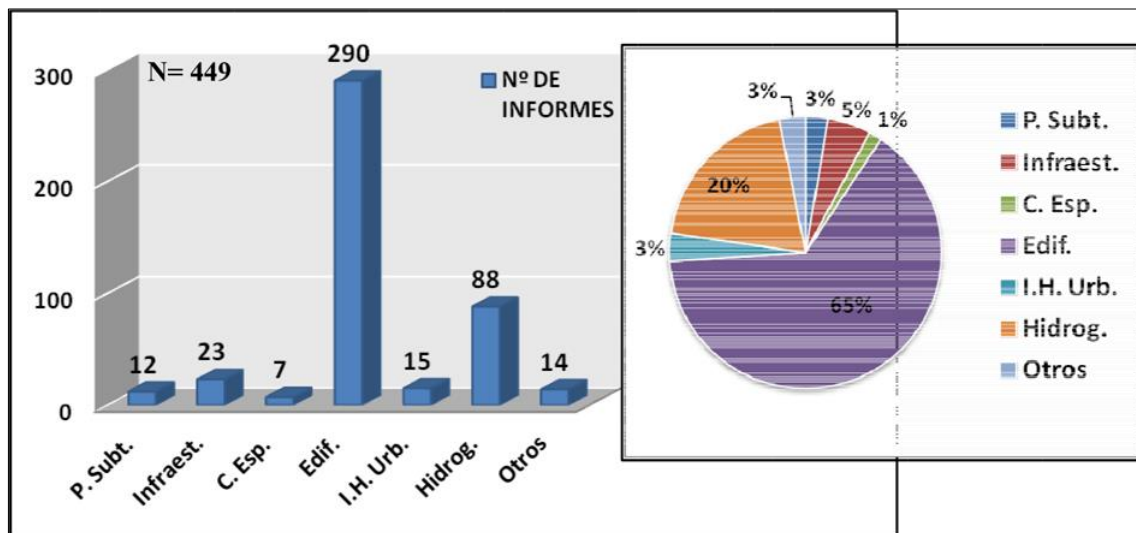
Es relevante el hecho de que esta parte del trabajo tendrá dos vertientes diferenciadas. Por un lado se trabajará sobre la base de datos existente, seleccionando aquella información referente a la formación Gijón. Por otro lado se aportará información nueva procedente de estudios e informes que no se hubiesen incluido inicialmente en dicha base de datos. Con todo el conjunto tendremos el cuerpo de información básico del trabajo, a completar con la información obtenida en campo y en el laboratorio.

#### 2.1.1 Base de datos

Como se puede presuponer, la adquisición de datos inicial que llevó a la construcción de la base de datos supuso la laboriosa y ardua tarea de pasar a formato digital la información contenida en informes en soporte físico, la mayoría de ellos realizados durante los últimos 20 años. Debido al gran número de informes y/o documentos manejados, se consiguió una serie de datos lo suficientemente significativa para poder tomar como válidos los valores geotécnicos que se pudieran deducir de ellos.

Los diferentes informes geológico-geotécnicos aportados en esta base de datos anteriorse pueden apreciar en la Figura 2.1, donde se especifican sus los diferentes posibles orígenes de cada grupo de ellos.Hay que destacar que muchos eran inéditos al tiempo de la publicación de ese trabajo y no habían sido utilizados en ninguna publicación previa, por lo que aportaron datos nuevos, conformando una información de gran valor público.

En cuanto a la información contenida en los informes, consiste en datos obtenidos de sondeos, calicatas, ensayos de penetración dinámica, ensayos de penetración estándar o ensayos de permeabilidad, dependiendo de cada caso. Estas prospecciones se complementaron tanto con numerosos puntos de observación in situ, donde se aporta información de caracterización del macizo rocoso, como con ensayos de muestras en el laboratorio. Con todo ello se obtuvo una imagen del subsuelo de la ciudad y sus propiedades.



**Figura 2.1.** El gráfico de la izquierda refleja el número de informes de cada tipología, y el derecha representa el porcentaje en función de su naturaleza respecto al número total de informes analizados (Martínez Largo, 2014)

**Legenda:** N; número total de informes., P. Subt.; parking subterráneo., Infraest.; infraestructura., C. Esp.; cimentación especial., Edif; edificación., I.H. Urb.; infraestructura hidráulica urbana., Hidrog.; hidrogeológico., Otros; regeneración de playas, deslizamientos, minería, parajes naturales,...

A partir de esta base de datos, donde se incluyen datos referentes a todas las unidades geotécnicas presentes, se han extraído las partes que contienen información sobre nuestra formación, compilándola toda en un conjunto. Dicha información compondrá la base sobre la que se sustentará el trabajo, y a la que se le irá añadiendo el resto de información obtenida, procedente de diferentes fuentes.

Además, una vez separada y recopilada la información que nos es relevante, el siguiente paso consistió en buscar y añadir los datos procedentes de informes que no hubieran sido previamente añadidos, bien por permanecer desconocidos o bien por haber sido generados con posterioridad a la construcción de la base de datos de partida.

---

Estos nuevos informes añadidos han sido obtenidos buscando en empresas o instituciones públicas con interés por el estudio del subsuelo de la ciudad, donde a través de un compromiso de confidencialidad se consiguen aquellos documentos que hace referencia a la formación objeto de estudio. Como se ha dicho esta nueva información completa el conjunto de datos de forma que los resultados y deducciones obtenidas procedan de una muestra aún más significativa.

## 2.2 Trabajo de campo

Como aproximación a la caracterización de macizos rocosos en afloramientos de la Fm. Gijón, se llevó a cabo el levantamiento de varias estaciones geomecánicas siguiendo los procedimientos habituales de toma de datos en campo. Para ello se seleccionaron previamente un total de 10 emplazamientos dentro del área de estudio, repartidos geográficamente entre Cimadevilla, El Rinconín, Tremañes (dos zonas) y Bernueces (Tabla 2.1); en cada una de ellas se levantaron dos estaciones. Las ubicaciones de estos puntos de reconocimiento se escogieron, aparte de por su accesibilidad, procurando que dentro de lo posible se viesen representados diferentes litotipos y calidades de macizo, en al menos los dos miembros de la Fm. Gijón con mayor variedad litológica (Tabla 2.1).

Estación Geomecánica	Coordenadas		Localización	Subunidad de la Fm. Gijón
	X	Y		
EG1	284763	4825286	Cerro de Sta. Catalina (Cimadevilla)	Miembro Inferior
EG2	284718	4825301		
EG3	286496	4824855	Playa de El Rinconín	Miembro Superior
EG4	286486	4824939		
EG5	280527	4823670	Ámbito del polígono industrial Bankunión II (Tremañes)	Miembro Inferior
EG6	280558	4823649		
EG7	280356	4822421	Entorno acopio de carbón de Arcelor-Mittal (Tremañes)	
EG8	280294	4822580		
EG9	285560	4821577	Talud en la autopista del Cantábrico (Tremañes)	
EG10	285590	4821587		

**Tabla 2.1.** Datos generales de las estaciones geomecánicas estudiadas

Todas han sido escogidas por su posibilidad de acceso y por estar distribuidas de forma uniforme en el entorno de la ciudad como se ha mencionado. Se han hecho dos estudios en cada afloramiento con el fin de reducir las desviaciones causadas por el factor humano y así poder observar valores medios de la formación en cada uno de ellos.

A continuación, en la figura 2.4., se exponen un mapa donde representamos las localizaciones de los puntos junto con la distribución de la Formación Gijón en el entorno de la ciudad.

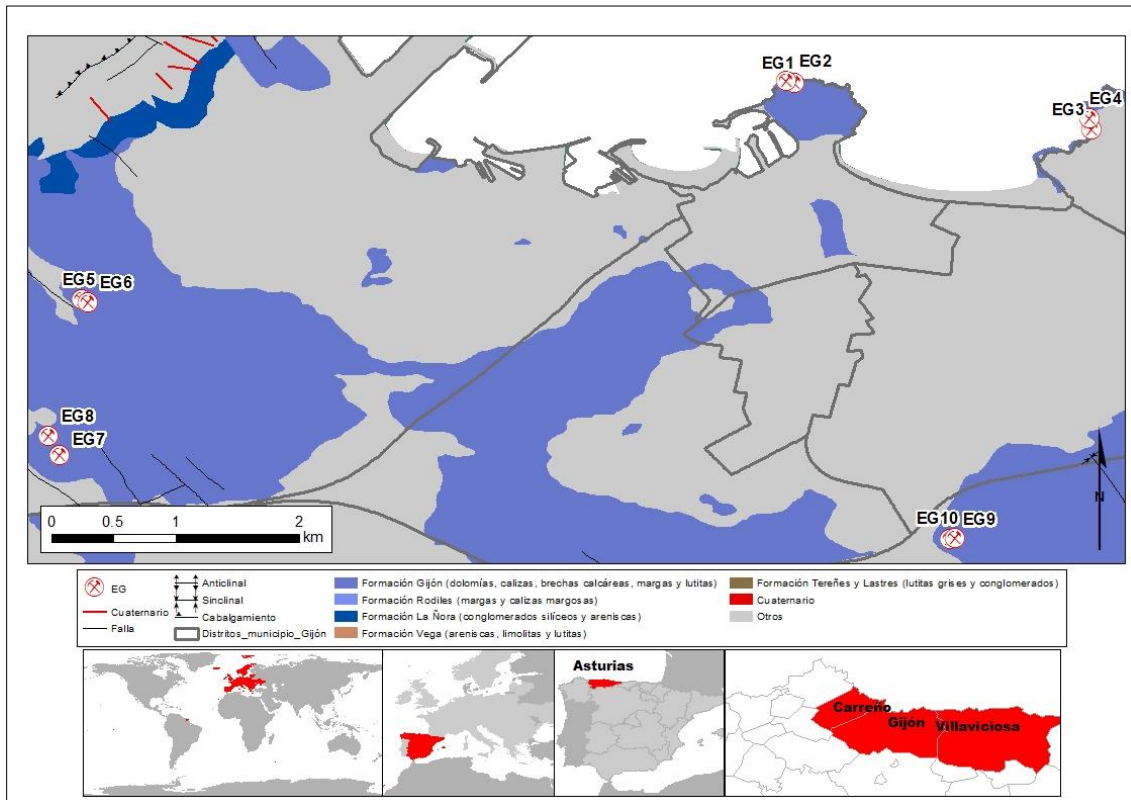


Figura 2.4. Localizaciones de las estaciones geomecánicas en la Formación Gijón

Como se puede observar en la figura las estaciones se han localizado buscando cubrir la mayoría de zonas de afloramiento en torno a la ciudad. Además se han hecho tanto en afloramientos naturales, como son los ocasionados en el borde costero del Cerro de Sta. Catalina y la Playa del Rinconin, como en afloramiento ocasionados por infraestructuras humanas, como son los de la zona industrial al Oeste de Gijón y el talud de Cantera situado en el entorno de la Autopista A-8.

### 2.2.1 Componentes del estudio Geomecánico

En cada una de las diez estaciones geomecánicas (Fig. 2.5) se realizaron las observaciones pertinentes y fueron tomadas diversas medidas, convenientemente anotadas en estadillos preparados para ello:

- Datos generales: estación, fecha autoría, localización geográfica y coordenadas UTM (según el Sistema de Referencia Terrestre Europeo, ETRS89).
- Características del afloramiento: orientación del talud, identificación de la litología, presencia de formaciones superficiales, estructuras (pliegues, fallas, etc.) y presencia de agua.
- Grado de meteorización de la matriz rocosa según las clases de referencia que establece la ISRM (1981).

- 
- Determinación indirecta de la resistencia a compresión simple de la roca matriz de dos formas:
    - Cualitativa, utilizando el martillo de geólogo en función de la necesidad o no de uno o más golpes para fragmentar la roca.
    - Cuantitativa mediante golpeo con un martillo Schmidt de tipo L. Se procedió efectuando en cada afloramiento una decena de impactos sobre una superficie de roca no alterada ni de discontinuidad, estando separados los puntos de golpeo al menos una distancia de ancho equivalente al diámetro del émbolo; de los valores de rebote obtenidos posteriormente se calculó el promedio de los cinco valores más altos. Dicho valor de rebote permite, junto con el peso específico de la roca, estimar un valor de resistencia a compresión uniaxial bien de forma gráfica (Miller, 1965) o mediante la siguiente fórmula matemática:
$$\log \left[ \frac{\sigma_{ci}}{0,00088 \cdot \xi \cdot R \cdot \gamma_d} + 1,01 \right]$$
Siendo:  $\sigma_{ci}$  = resistencia a compresión simple de la roca matriz (MPa);  $\xi$  = constante de humedad (0,96 en muestra seca y 1 para húmeda); R = índice de rebote;  $\gamma_d$  = peso específico seco de la roca (kN/m<sup>3</sup>).
  - Descripción de las discontinuidades identificadas:
    - Tipo de plano (estratificación, diaclasa, etc.).
    - Medida de orientación y buzamiento de las discontinuidades.
    - Para cada discontinuidad: espaciado, continuidad, abertura, rugosidad y rellenos.
  - Medida de la fracturación:
    - Número de discontinuidades por unidad de volumen o JV.
    - Rock Quality Designation o RQD obtenido indirectamente a partir de JV mediante la expresión de Palmström (2005):
$$RQD = 110 - 2,5 \cdot J_V \quad \text{para } 4 \leq J_V \leq 44$$
  - Cuantificación de la calidad de macizo según las clasificaciones:
    - Geological Strength Index o GSI (Marinos y Hoek, 2000)
    - Rock Mass Rating o RMR (Bieniawski, 1989).
    - Q (Barton et al., 1974).
-

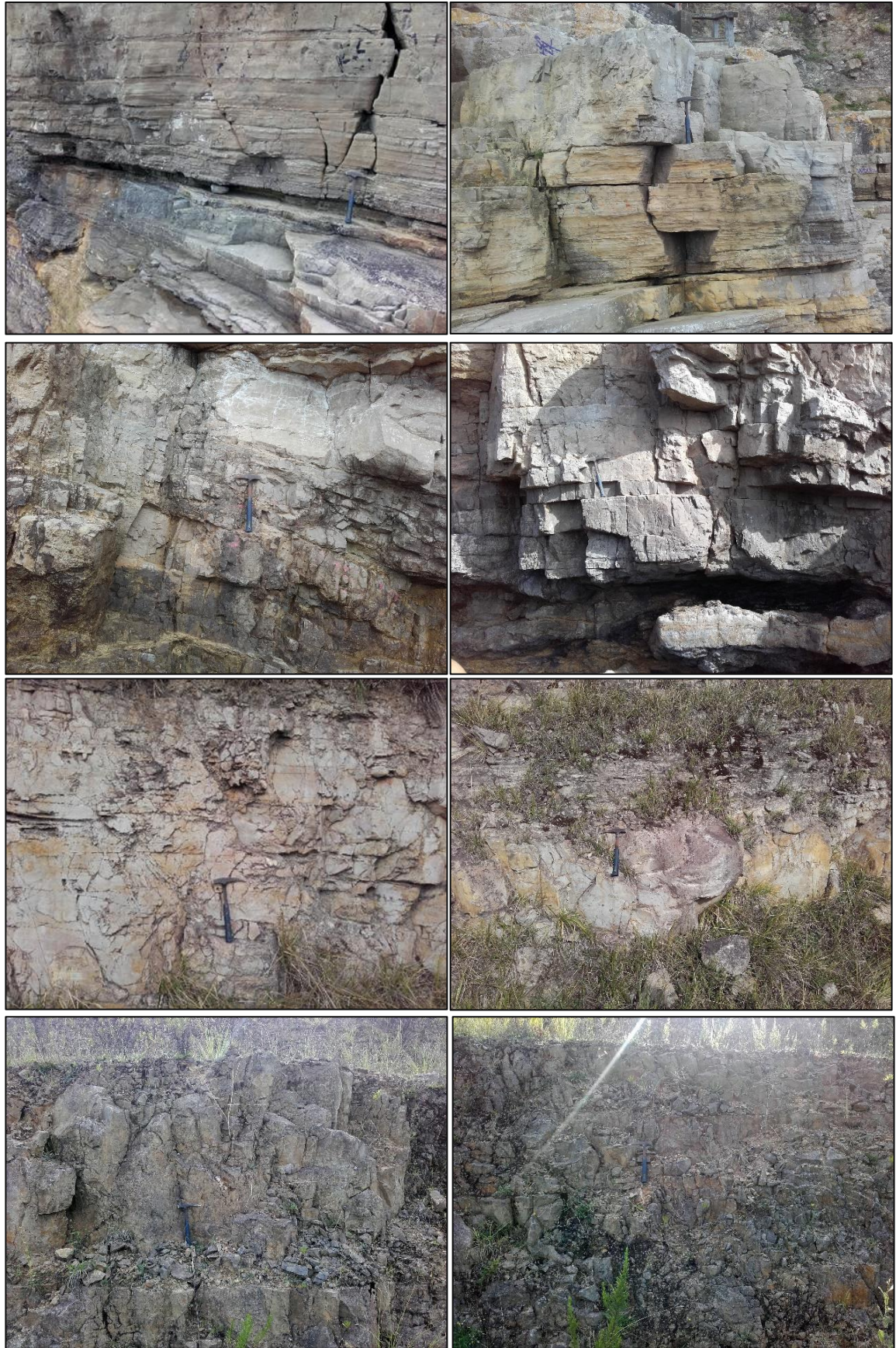
General		Formación Gijón		Estación		
Proyecto		10/10/2016		Localización		
Fecha		Pedro Álvarez Alonso		Coordenadas (UTM)		
Autor						
Afloramiento						
Litología						
Formaciones Superficiales (Naturaleza, espesor)						
Estructura		Plegues		Fallas		
Fracturación		Bloques Iv (juntas/m3)		Muy grandes <1 Medios 3-10 Muy pequeños >30		
Resistencia de la matriz rocosa		0. Extremadamente blanda (uña) 3. Media (un golpe de martillo)		1. Muy blanda (navaja) 4. Dura (más de un golpe martillo)		
Grados de meteorización		I. Sana IV. Muy meteorizada		II. Algo meteorizada V. Completamente meteorizada		
Hidrogeología		Sin agua Goteos		Seco (señales agua) Flujo		
Observaciones						
Discontinuidades						
Orientación del talud actual						
Tipo de plano						
Dirección de buzamiento						
Buzamiento						
Espaciado	Extr. juntas (2 cm)					
	Muy juntas (6 cm)					
	Juntas (20 cm)					
	Moderad. juntas (60 cm)					
	Separadas (2 m)					
	Muy separadas (6 m)					
Continuidad (rumbo y buzamiento)	Extr. Separadas (>6 m)					
	Muy baja (<1 m)					
	Baja (1-3 m)					
	Moderada (3-10 m)					
Abertura (mm)	Alta (10 m)					
	Muy alta (>20 m)					
	Muy cerrada (<0.1)					
	Cerrada (0.1-0.25)					
	Parcialm. Cerrada (0.25-0.5)					
	Abierta (0.5-2.5)					
	Moder. abierta (2.5-10)					
Rugosidad	Ancha (>10)					
	Muy ancha (10-100)					
	Extrem. Ancha (100-1000)					
	Cavernosa (>1000)					
	Escalonada					
	I. Rugosa					
Refilenos	II. Lisa					
	III. Slickensidad					
	Ondulada					
	I. Rugosa					
	II. Lisa					
	III. Slickensidad					
	Plana					
	I. Rugosa					
	II. Lisa					
	III. Slickensidad					
	Composición					
	Espesor					
I. Sana						
II. Algo meteo.						
III. Medio meteo.						
IV. Muy meteo.						
V. Completam.						
VI. Suelo resi.						
Seco						
Húmedo						
Goteo						
Flujo						
Resistencia						
1. Muy blando						
2. Blando						
3. Consistente						
4. Muy consist.						
5. Duro						
6. Muy duro						
Clasificaciones						
GSI		Estructura				
Calidad superficial		Resultado				
Resultado		Valor		Descripción		
RMR	Resistencia de la roca intacta		Martillo Schmidt		Media	
	R.C.D.		RCS (MPA)		Valor	
	Espaciado de las juntas		R.Q.D.		Valor	
	Condición de las juntas		Condiciones		Valor	
	Agua		Condiciones		Valor	
	Resultado		Valor		Descripción	
Q	R.Q.D.		Condiciones		Valor	
	jr		Condiciones		Valor	
	jw		Condiciones		Valor	
	jh		Condiciones		Valor	
	ja		Condiciones		Valor	
	S.R.F.		Condiciones		Valor	
Resultado		Valor		Descripción		

Figura 2.5. Planilla para las estaciones geomecánicas

### 2.2.2. Estaciones geomecánicas

El aspecto del afloramiento donde se ha llevado a cabo cada una de las estaciones geomecánicas se puede observar en la figura 2.6. Estas imágenes nos dan unas primeras impresiones de la apariencia del macizo rocoso de la Formación Gijón. Ya a continuación, en el apartado de Resultados y Discusión, se expondrán todos los valores obtenidos en cada una de ellas.









**Figura 2.5.** *Aspecto de los taludes ordenados correlativamente de izquierda a derecha y de arriba a abajo*

---

## 2.3. Trabajo de Laboratorio

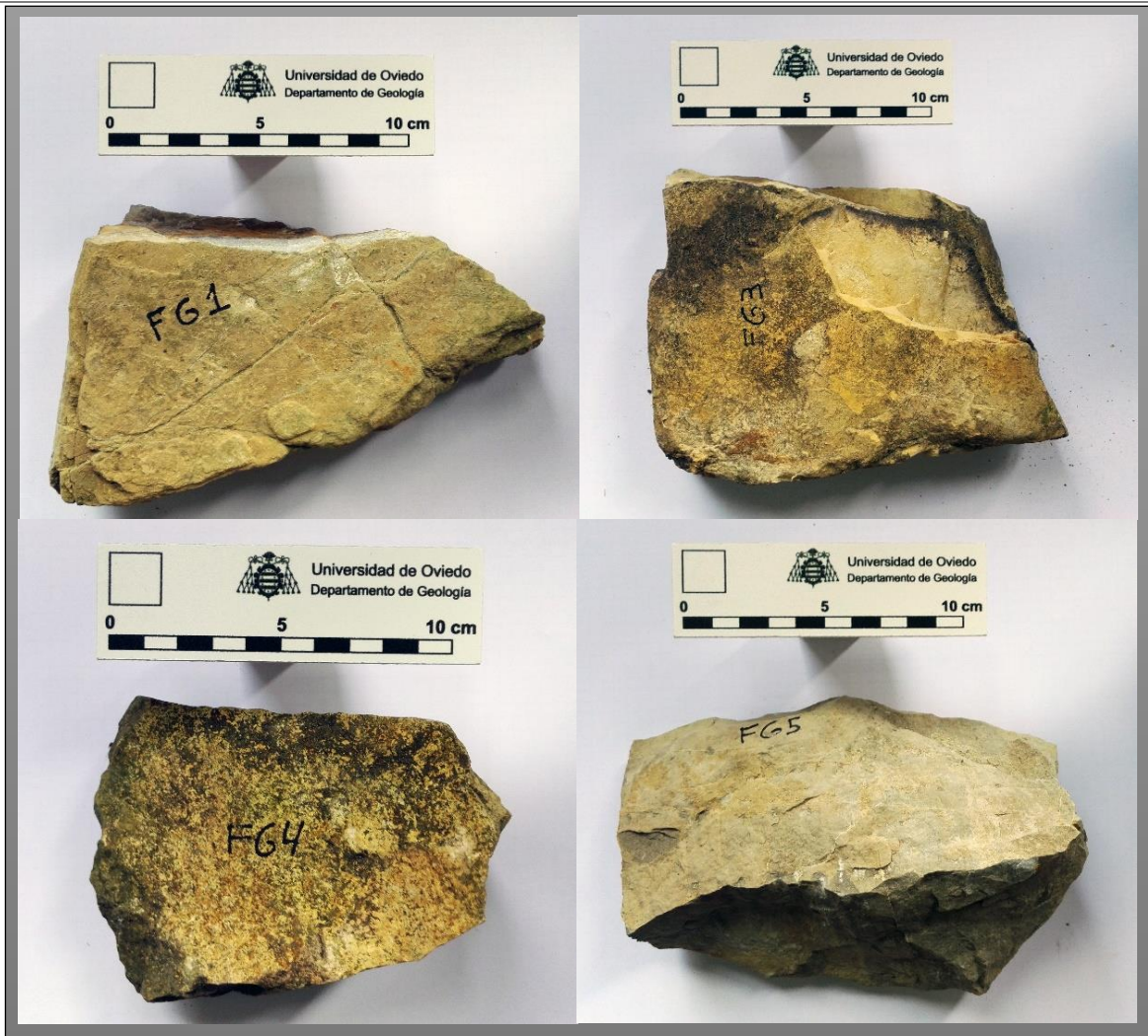
De las muestras tomadas en campo (una por estación de reconocimiento) se seleccionaron cuatro de ellas para ser estudiadas en detalle mediante pruebas de identificación y un ensayo mecánico, concretamente las procedentes de las estaciones EG1, EG3, EG4 y EG5 (Fig. 2.6); dos de ellas pertenecen por tanto al miembro inferior y otras dos al superior de la Fm. Gijón. Para estas muestras se llevó a cabo un reconocimiento macroscópico y con lupa binocular, así como la preparación de láminas delgadas (30  $\mu\text{m}$ ) para observación mineralógica y textural bajo microscopía óptica.

Las láminas, tratándose de carbonatos, fueron parcialmente teñidas para facilitar la distinción entre calcita y dolomita. Por otro lado, se consideró interesante conocer la composición química de las muestras, determinada mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X con un equipo Philips PW2404; así como la mineralógica a través de difracción de rayos X con un Philips X' PERT PRO. Las determinaciones fueron llevadas a cabo en las instalaciones del Departamento de Geología y los Servicios Científico-Técnicos de la Universidad de Oviedo.

### 2.3.1. Preparación de las probetas

Desde el punto de vista mecánico, el tallado de probetas para la determinación de resistencias bajo compresión uniaxial habría sido demasiado laborioso para el propósito inicial de esta investigación; y en cualquier caso se dispone al menos de referencias numéricas previas. Sin embargo y en contraposición, ya se indicó la falta de referentes bibliográficos sobre carga puntual por lo que se consideró interesante acometer pruebas de rotura bajo dicho ensayo (también conocido como PLT).

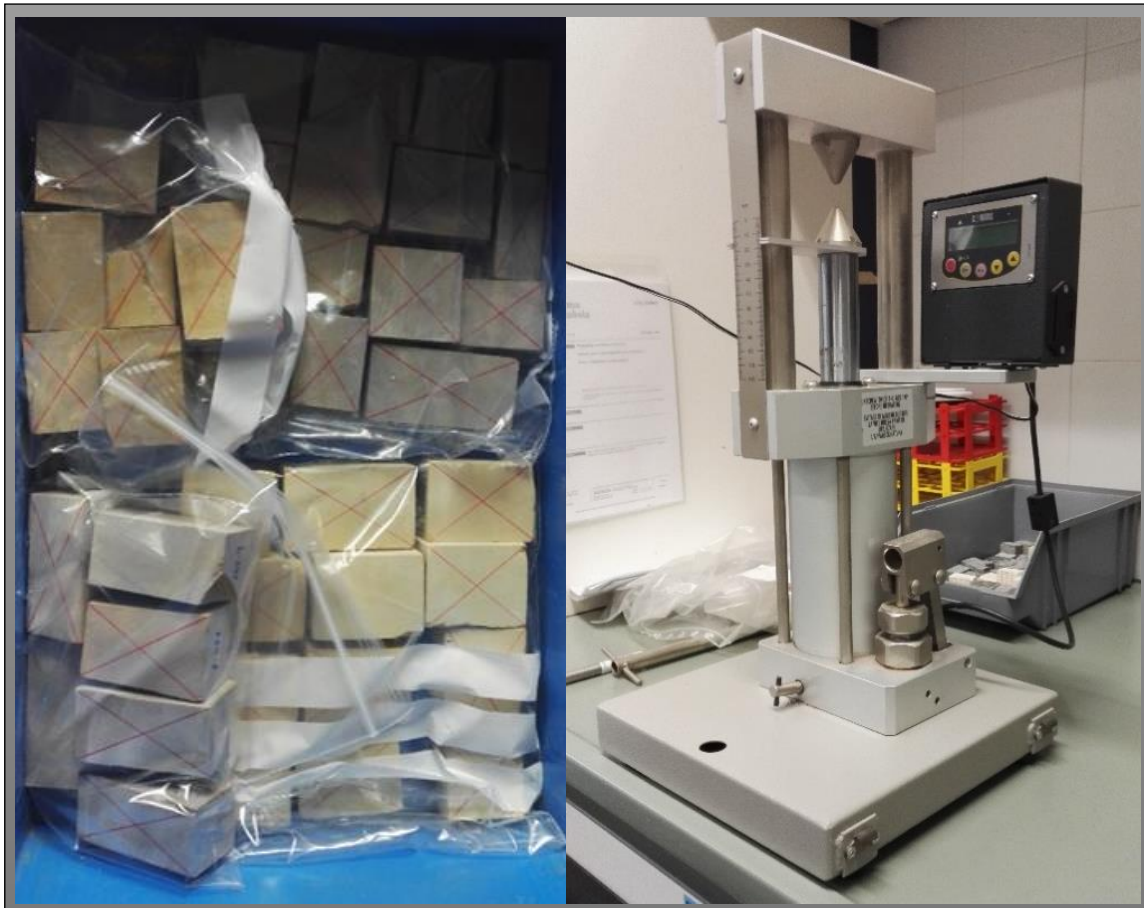
Se tomó para ello como referencia la norma UNE 22950-5:1996, abordando la modalidad de ensayar bloques. Mediante sierra de corte se cortaron prismas de roca adecuados a las dimensiones relativas que exige la citada norma, procurando obtener el mayor número posible de bloques para cada muestra (Fig. 2.6). Fueron preparados en total 38 con un volumen promedio de 20,5  $\text{cm}^3$ . A continuación y previamente al ensayo se introdujeron en estufa a 60  $^{\circ}\text{C}$  durante al menos 24 h para eliminar la humedad, especialmente la aportada por el agua de refrigeración durante el corte.



**Figura 2.6.** Muestras destinadas a pruebas de laboratorio tomadas en las estaciones geomecánicas

### 2.3.2. Ensayos

Posteriormente a la preparación de las probetas las pruebas de punzonamiento se llevaron a cabo con un dispositivo de carga puntual digital Controls 45-D0550/D (Fig. 2.7). En los bloques en que se apreciaba anisotropía en forma de bandeo la carga se dispuso perpendicularmente a la misma.



**Figura 2.7.** Bloques preparados y equipo de ensayos de carga puntual.

Por otro lado, dado que es un dato interesante y utilizable numéricamente –al menos como referencia–, y dado que no se dispuso de ensayos específicos bajo norma para su determinación, se llevó a cabo una estimación de la densidad seca de las muestras. Para ello se utilizó la volumetría de los bloques destinados a rotura medida con calibre, y una báscula digital –precisión de miligramos– para conocer la masa tras ser secados en el horno.

---

## 2.4. Gabinete

Finalmente se integran los datos bibliográficos y de laboratorio sobre la roca matriz, junto con la información obtenida en la caracterización de campo (p.ej., las clasificaciones geomecánicas) para determinar correlaciones entre variables y parámetros resistentes a escala de macizo rocoso que sirvan como referencia representativa de los macizos investigados. Para ello se ha recurrido a diversas propuestas recogidas en la bibliografía técnica, y al software RocscienceRocLab (v. 1.033), que hace uso del ampliamente utilizado criterio de rotura de Hoek&Brown (Hoek et al., 2002). La obtención de parámetros por diferentes vías y procedimientos permite además compararlos numéricamente, actuando con mayor criterio a la hora de utilizar esta información.

Por otro lado, finalmente se abordan cuestiones básicas relativas a la aplicación directa de los parámetros geotécnicos obtenidos, tanto de la roca matriz como de los macizos rocosos. Concretamente se estiman: excavabilidad de macizos rocosos; estabilidad de taludes en roca en los afloramientos inspeccionados de acuerdo a los mecanismos de rotura habituales evaluados mediante proyección estereográfica; y cálculo de la capacidad portante para cimentaciones directas, usando la normativa de referencia del procedimiento propuesto en la 'Guía de cimentaciones en obras de carretera' (Ministerio de Fomento, 2009).

---

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se recopilarán todos los datos obtenidos hasta ahora siguiendo las diferentes fuentes, exponiéndolos de forma que se busquen valores estadísticos relevantes.

Para este análisis estadístico se tomarán los datos de cada fuente por separado, considerándolos todos en conjunto cuando se analicen los resultados que se van exponiendo. Se busca que, pese a tener orígenes diferentes, estos sean comparables entre sí y aporten un valor en su conjunto. Todos los datos obtenidos de las estaciones geomecánicas se adjuntan como anexos para facilitar la posible consulta de los datos brutos que puedan ser considerados interesantes.

La primera parte del apartado se centrará en la exposición de los resultados obtenidos a partir de la bibliografía previa. Se expondrán clasificados según los diferentes ensayos y parámetros medidos en los estudios geotécnicos que dieron lugar a la compilación que constituye nuestra base de datos.

La segunda parte se centrará en la exposición de los resultados obtenidos mediante el trabajo de campo. Se detallarán todos los apartados y componentes de las Estaciones Geomecánicas que se han llevado a cabo en cada afloramiento.

Finalmente, en la tercera y última parte expondremos los resultados obtenidos de los ensayos llevados a cabo en el laboratorio, donde obtendremos unos valores propios de la resistencia y por extensión de la capacidad de aguantar esfuerzos de la matriz rocosa para cada uno de los afloramientos.

Este trabajo tiene una finalidad tanto compiladora como generadora de nueva información, con la idea de que ambas vertientes sirvan para lograr un trabajo más completo. Es por ello que se han interpretado estas posibles aplicaciones geotécnicas, con la idea de obtener un documento que actúe como guía para cualquier persona que necesite información de origen académico sobre esta unidad geotécnica, de gran importancia para la construcción civil en la región.



---

### 3.1. Recopilación de datos

El análisis de los datos previos puso de manifiesto desde el principio la dificultad de partida comentada con anterioridad que supone diferenciar correctamente la naturaleza litológica de los materiales ensayados. Las descripciones en geotecnia suelen ser genéricas litológicamente hablando, y con frecuencia se clasifican las rocas como ‘caliza’ o ‘marga’ indicándose su color y aquellas características que resulten perceptibles ante una inspección visual (vetas, poros, etc.); por lo general respecto al color es habitual que los tonos grisáceos claros se asocien a calizas y si son más oscuros a margas. Las dolomías suelen vincularse a tonos beige si bien es previsible que no siempre se identifiquen correctamente; teniendo en cuenta su presencia en la Fm. Gijón con seguridad algunas muestras de las recopiladas –en buena media las que aportan valores más altos de resistencia mecánica– no correspondan a calizas sino dolomías. Así, con el condicionante anterior al exponer los resultados de ensayos compilados se hace conjuntamente para todas las muestras sin establecer diferencias entre litologías. Se describen a continuación los parámetros analizados.

#### 3.1.1. Densidad seca ( $\rho$ )

Se dispuso de la medida en 16 probetas de roca. Los valores de densidad oscilan entre un mínimo de 1,85 g/cm<sup>3</sup> y un máximo de 2,78 g/cm<sup>3</sup>, siendo 2,5 g/cm<sup>3</sup> el promedio. En general, y aunque se reitera que la distinción litológica sólo es relativamente admisible, los valores más elevados (> 2,7) suelen estar atribuidos a dolomías o a calizas dolomitizadas; este hecho concuerda con lo esperable en términos numéricos ante la mayor densidad de la dolomita frente a la calcita, a expensas evidentemente de otras variables como la porosidad de la roca.

#### 3.1.2. Resistencia a compresión uniaxial( $\sigma_{ci}$ )

La distribución de valores de resistencia a compresión simple recopilados ofrece una asimetría positiva. El promedio alcanza 44,75 MPa y la mediana 34 MPa. Como se aprecia en el histograma (Fig. 3.1) la tercera parte de las rocas se califican como muy blandas y blandas, y apenas un 6 % de las muestras pueden considerarse de alta resistencia (100-250 MPa) con elevada proporción de rocas descritas como calizas dolomíticas y dolomías. Cabe destacar que excepcionalmente una probeta alcanzó 160,34 MPa, valor nada despreciable para tratarse de litologías carbonatadas asturianas no paleozoicas que por tanto pueden considerarse ‘recientes’. El motivo de esta variabilidad de resistencias hay que buscarlo en la mencionada diversidad litológica de la unidad –que además presenta frecuentes alternancias de materiales–, pero también en la falta de homogeneidad de las rocas. La revisión de los estadillos de laboratorio, cuando incluyen observaciones sobre la rotura (fotografías, esquemas de la rotura o explicaciones en texto), ofrece un amplio muestrario

---



de las heterogeneidades que los diferentes litotipos de la Fm. Gijón llegan a presentar a escala de muestra de ensayo; heterogeneidades que normalmente contribuyen a minorar la resistencia mecánica de la roca matriz y llegan a condicionar totalmente la rotura si forman planos de debilidad manifiestos. Entre ellas figuran laminaciones y bandeados composicionales, porosidad vinculada a huecos de disolución con o sin cristalización de tamaños variados, vetas de calcita de ancho milimétrico o submilimétrico, fisuras abiertas y por supuesto alteración de la matriz rocosa.

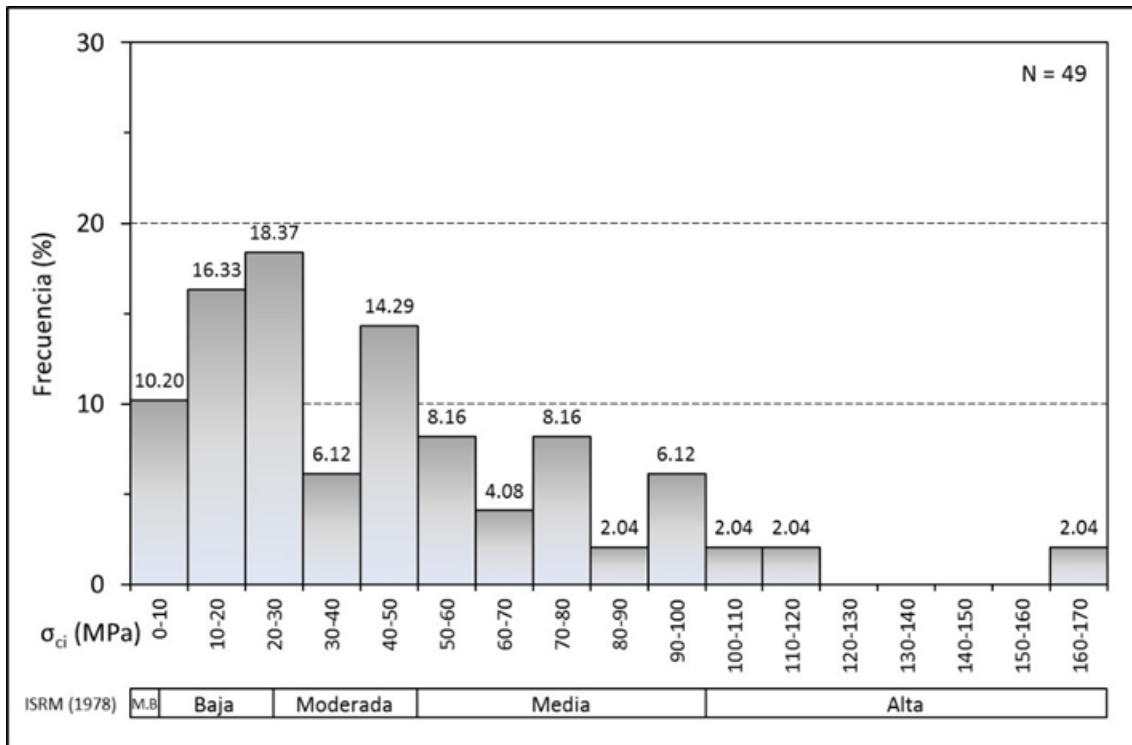


Figura 3.1. Resultados en ensayos de compresión uniaxial en carbonatos de la Fm. Gijón

Por otro lado, la búsqueda de una relación empírica entre  $\sigma_{ci}$  y la densidad seca, considerando el total de muestras sin distinción litológica y obviando las heterogeneidades, mostró una tendencia coherente al incremento conjunto de ambas para el que el mejor ajuste corresponde a un modelo potencial con R<sup>2</sup> de valor 0,758. Evidentemente es una correlación grosso modo, pero que permite adelantar que con datos más homogéneos resultará aún más precisa.

### 3.1.3. Abrasividad Cerchar

En los nueve ensayos recopilados, vinculados a diferentes emplazamientos y litologías, existe una variabilidad limitada del índice Cerchar; concretamente desde un mínimo de 0,1 a máximo de 2,6, con promedio de 1,48. Mayoritariamente por tanto pueden calificarse las rocas ensayadas como muy poco o poco abrasivas. Posiblemente los contenidos ocasionales en granos de cuarzo de algunos litotipos que se han comentado en la introducción a la

---

estratigrafía de la unidad, son los responsables de los índices con valores por encima de los habituales en carbonatos que suelen mantenerse por debajo de 1,2. No se encontró ninguna relación empírica entre este parámetro y la resistencia a compresión uniaxial.

## 3.2. Caracterización de macizos rocosos

En los siguientes subapartados se detallan y discuten todos los resultados obtenidos a partir de la toma de datos en campo en los diez macizos rocosos investigados.

### 3.2.1. Matriz rocosa

En esta primera parte del estudio consideraremos las características concretas del material que conforma el macizo rocoso. Con estos datos queremos dar una idea de que propiedades geotécnicas observamos y el grado de alteración que presenta su litología.

#### 3.2.1.1. Grado de meteorización

Atendiendo a la clasificación del grado de meteorización según la ISRM, la roca matriz de los macizos investigados varía entre los grados I (no aparecen signos de meteorización) caso de la mayor parte de los afloramientos EG9 y EG10, y grado II (ligeramente meteorizado) en el resto de estaciones geomecánicas; en ellas en algunas partes del macizo se distinguen decoloraciones que pueden interpretarse como alteraciones de la roca.

#### 3.2.1.2. Resistencia mecánica

Como se indicó en el apartado de metodología, la resistencia de la roca matriz en los afloramientos se evaluó mediante dos procedimientos. Como se puede comprobar existe correspondencia entre el golpeo con martillo de geólogo y los resultados del rebote esclerométrico (Tabla 3.1.). En ambos casos las matrices rocosas quedan encuadradas en tres categorías, desde las más blandas correspondientes a los afloramientos de Tremañes a las litologías más resistentes localizadas en Bernueces cuya compresión uniaxial deducida supera los 70 MPa.

		EG1	EG2	EG3	EG4	EG5	EG6	EG7	EG8	EG9	EG10
<b>Apreciación cualitativa</b>		Media (1 golpe de martillo)				Blanda (punta de martillo)				Dura (más de un golpe)	
<b>Martillo Schmidt</b>	<b>Rebote (R)</b>	35	36	35	24	19	27	24	39	42	
	<b><math>\sigma_{ci}</math> (MPa)</b>	58	61	58	33	26	38	33	71	83	
	<b>ISRM (1978)</b>	Moderada				Blanda y muy blanda				Media	

**Tabla 3.1.** Resistencia estimada para la roca matriz

### 3.2.2. Análisis de discontinuidades

A continuación, la segunda parte de los resultados de los estudios geomecánicos de campo consistirá en una descripción de las discontinuidades encontradas considerando todos los afloramientos en su conjunto. En primer lugar se detallarán las familias encontradas, para a continuación describir las características principales de las

discontinuidades. Finalmente se hará un subapartado dedicado a los rellenos encontrados y sus propiedades.

### 3.2.2.1. Disposición

En el conjunto de estaciones geomecánicas se tomaron un total de 100 medidas de orientación y buzamiento de discontinuidades. Como se puede apreciar en la proyección estereográfica de los polos de los planos tiene lugar una importante concentración de medidas en el centro de la falsilla, que responde a datos de superficies de estratificación (Fig. 3.2.). Estos definen planos con muy suave buzamiento ( $< 10^\circ$ ) casi en su totalidad inclinados hacia el NE y por tanto de rumbo NW-SE. Por otro lado, se aprecia una nueva concentración de polos en el perímetro del cuadrante SE que puede considerarse una familia ortogonal a la estratificación, para la que se pudo calcular un plano promedio de notación 316/85. De rumbo perpendicular, y también con un elevado buzamiento, también parece distinguirse otra familia. Las medidas restantes pueden considerarse juntas ocasionales.

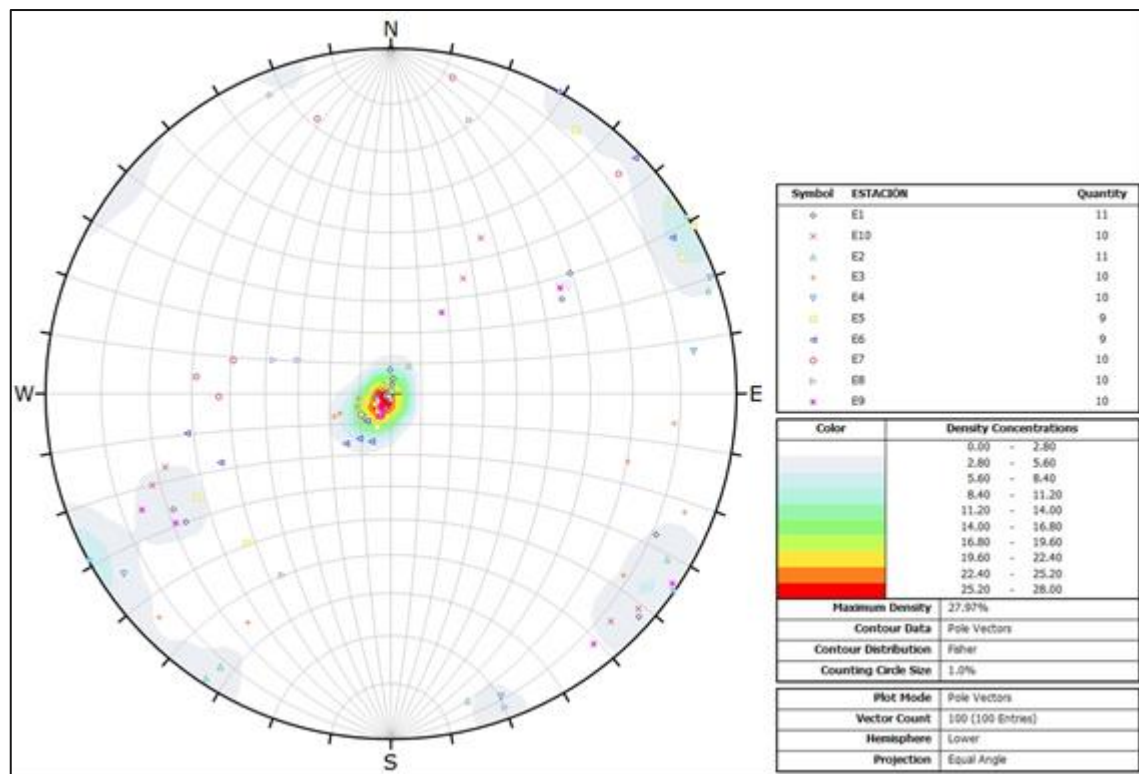
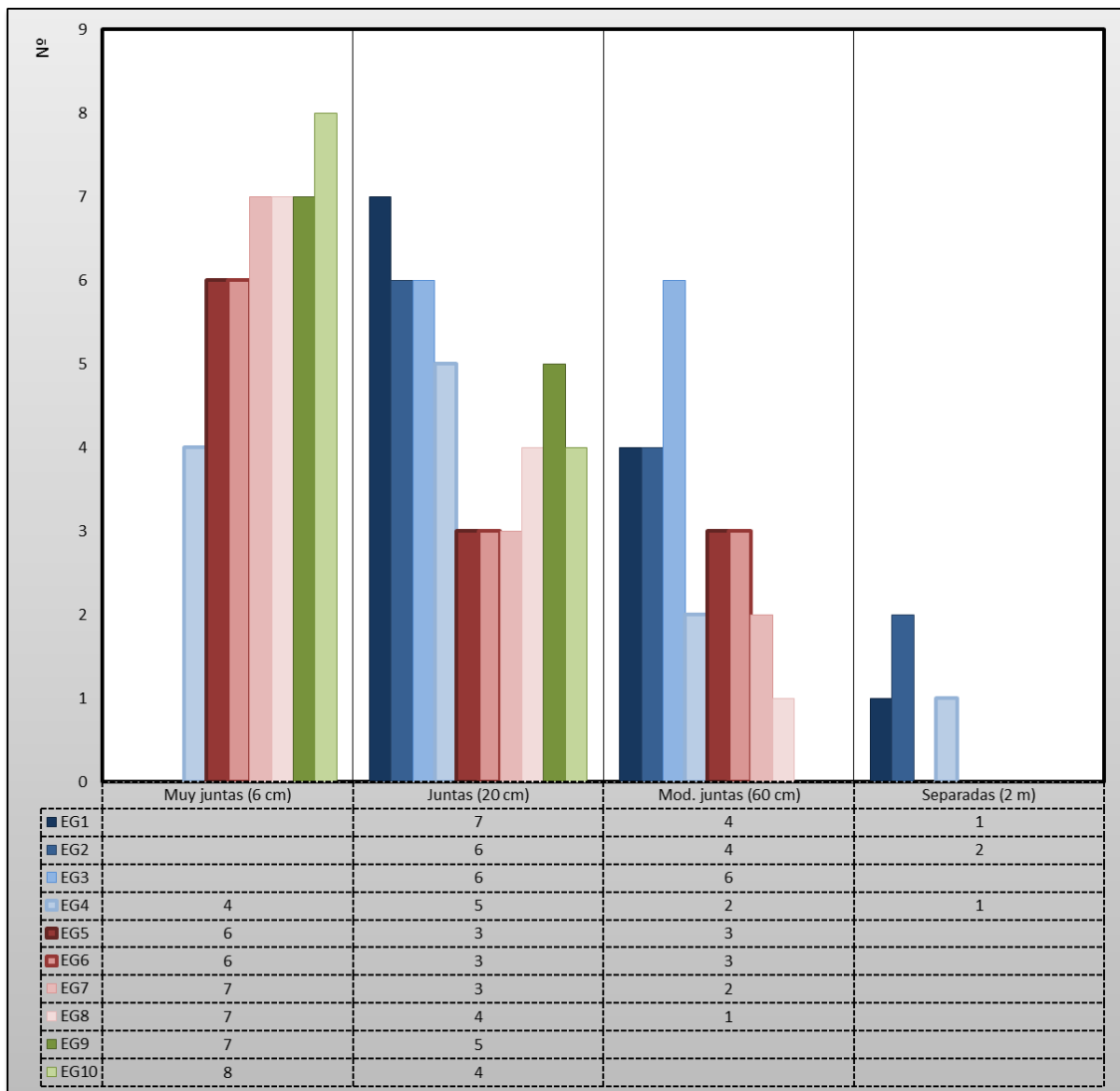


Figura 3.2. Representación estereográfica de las medidas estructurales tomadas en las estaciones geomecánicas

### 3.2.2.2. Espaciado

Considerando el espaciado de las juntas, para cada de las estaciones, observamos que se tienen resultados ligeramente diferentes si tomamos en consideración cada tipo de litología principal de la Formación Gijón (Fig. 3.3).



**Figura 3.3.** Representación gráfica del espaciado de las discontinuidades

En la figura las estaciones de tonos azules son las hechas en afloramientos carbonatados junto a la costa, las de tonos verdes las hechas en el interior y las de tonos rojos las hechas sobre afloramientos con mayor proporción de silicio.

Las estaciones 1, 2, 3, 4, 9 y 10, hechas sobre formaciones carbonatadas, tiene un espaciado de juntas que varía entre juntas (2 cm) y separadas (2 m), siendo el resultado más frecuente el de moderadamente juntas (6 cm). En cambio las estaciones 5, 6, 7 y 8, hechas sobre formaciones margosas, tienen un espaciado algo menor, entre muy juntas (6 mm) y juntas (2 cm).

### 3.2.2.3. Continuidad

La continuidad de las juntas, por otro lado, presenta unos valores homogéneos entre todas las estaciones, independientemente del tipo de litología, considerando que la escala

de continuidad puede variar desde valores centimétricos hasta las centenas de metros. En nuestro caso fluctúan entre una continuidad baja (entre 1 y 3 m) y moderada (de 3 a 10 m). Es reseñable que existe una mayor homogeneidad de resultados en el valor moderado entre las estaciones efectuadas en la zona de costa, 1, 2, 3, y 4 (Fig 3.4.).

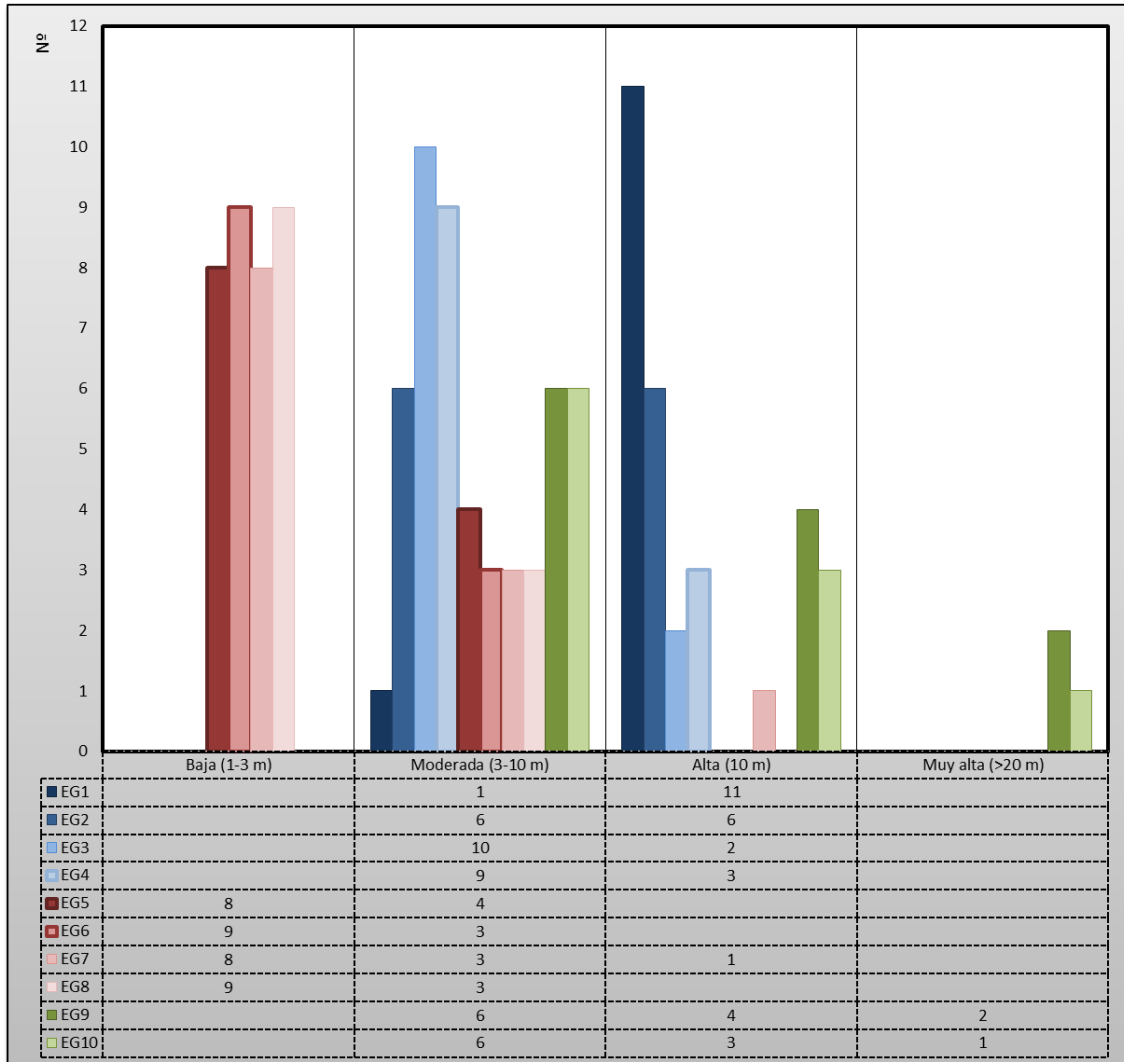


Figura 3.4. Representación gráfica de la continuidad de las juntas

De nuevo las estaciones de tonos azules son las hechas en afloramientos carbonatados junto a la costa, las de tonos verdes las hechas en el interior y las de tonos rojos las hechas sobre afloramientos con mayor proporción de silicio.

#### 3.2.2.4. Apertura

En cuanto a la abertura de las discontinuidades, existe una variedad de resultados entre estaciones, pero de nuevo no se aprecia una diferencia significativa entre litologías. Las carbonatadas fluctúan entre aberturas cerradas (entre 0,1 y 0,25 mm) hasta abierta (0,5 a 2,5 mm) presentando de nuevo los valores de costa mayor dispersión. Las margosas

presentan todas una abertura de las juntas parcialmente cerrada (entre 0,25 y 0,5 mm) (Fig 3.5.).

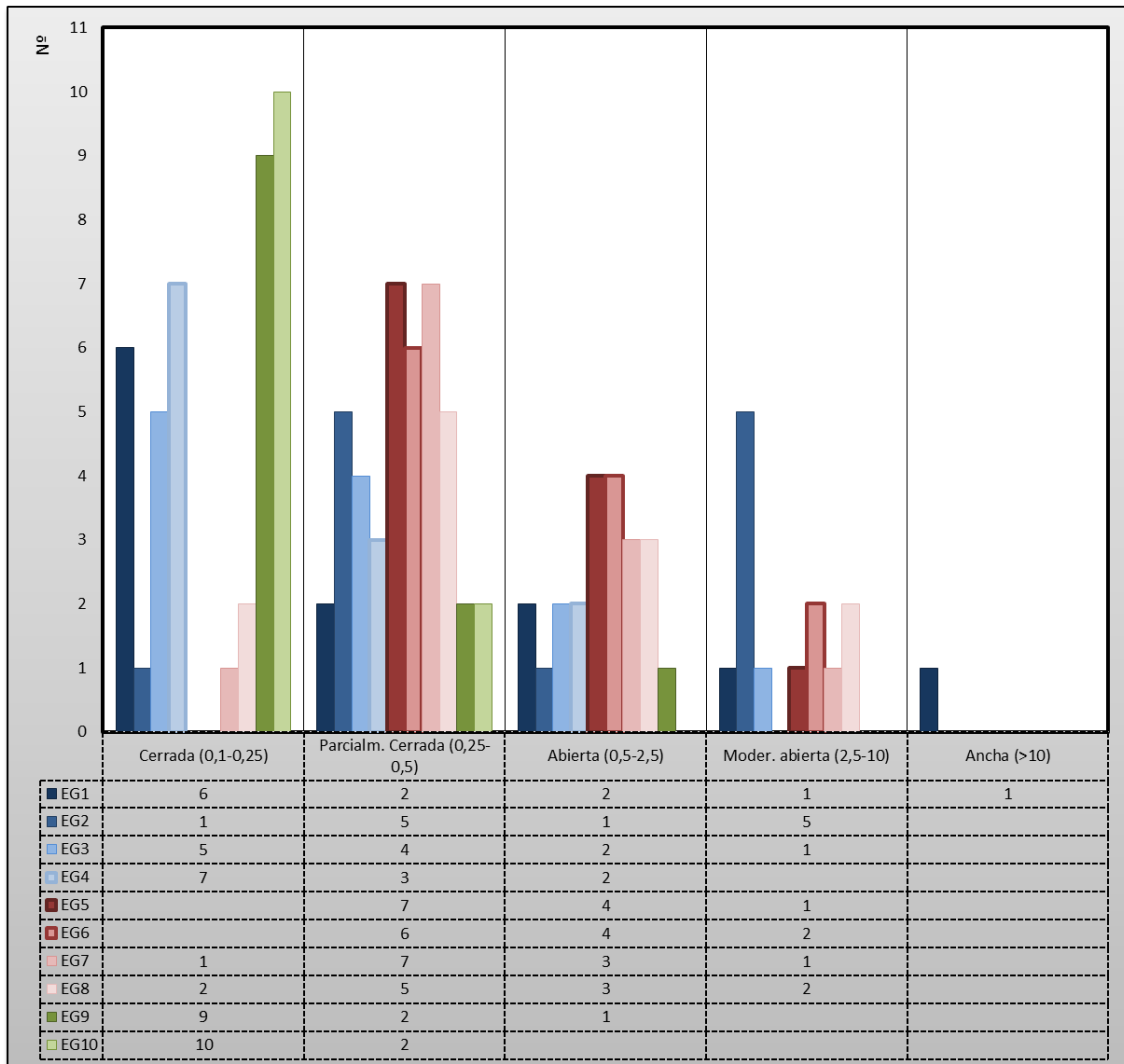


Figura 3.5. Representación gráfica de la apertura de las discontinuidades

### 3.2.2.5. Rugosidad

Finalmente, en el caso de la rugosidad si se aprecian diferencias significativas, tanto las diferentes litologías como entre las diferentes ubicaciones. Las formaciones carbonatadas situadas junto a la costa fluctúan entre juntas rugosas y escalonadas y otras onduladas y lisas. Las carbonatadas continentales en cambio son más homogéneas, siendo en general onduladas y rugosas. Por su parte las formaciones margosas son diferentes, presentando juntas planas y lisas de forma mayoritaria (Fig. 3.6.).

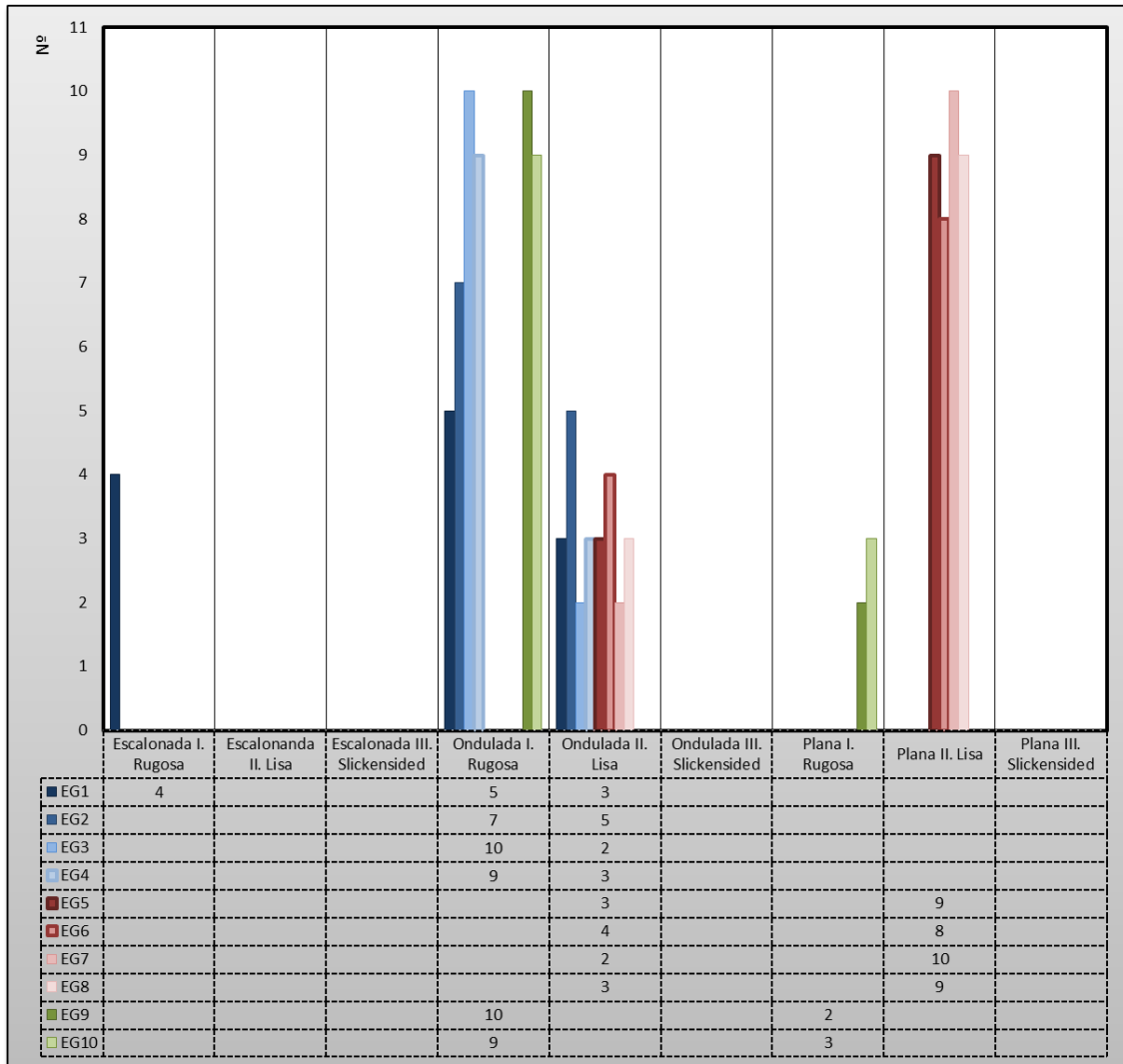


Figura 3.6. Representación gráfica de la rugosidad de las discontinuidades

Considerando los resultados del estudio hasta ahora, se pueden apreciar diferencias considerando dos criterios diferentes, la litología presente en la zona de la estación geomecánica, y su ubicación respecto a la costa. En el siguiente subapartado se detallarán las características principales encontradas en el estudio de los rellenos de las juntas.

### 3.2.2.6 Rellenos

En este subapartado, el último de la parte del estudio de las juntas de los afloramientos, detallaremos las principales características de los rellenos presentes en cada una de las familias de discontinuidades (Fig. 3.7.). Con ello tendremos una visión completa del macizo rocoso y sus componentes en su conjunto. De nuevo expondremos los datos de forma conjunta para cada una de las estaciones geomecánicas. En este caso los parámetros a definir serán:



- Espesor, donde se definirá la presencia efectiva de relleno y si el espesor que este presenta.
- Meteorización del relleno, donde se indicará si el relleno está alterado por los agentes ambientales. La escala está definida de forma subjetiva, e irá desde el valor I, relleno sin alteración, y VI relleno muy alterado o residual.
- Filtraciones que puedan existir en las juntas y junto al relleno. La escala va desde juntas secas hasta juntas donde existe un flujo continuo de agua.
- Resistencia del relleno, donde determinaremos, con una prueba en campo con el martillo Schmidt, su dureza. La escala de nuevo es arbitraria y va desde el valor I, muy blando, hasta el valor VI, muy duro. Este parámetro nos dará una idea más completa de la capacidad de deslizamiento y adherencia de las juntas.

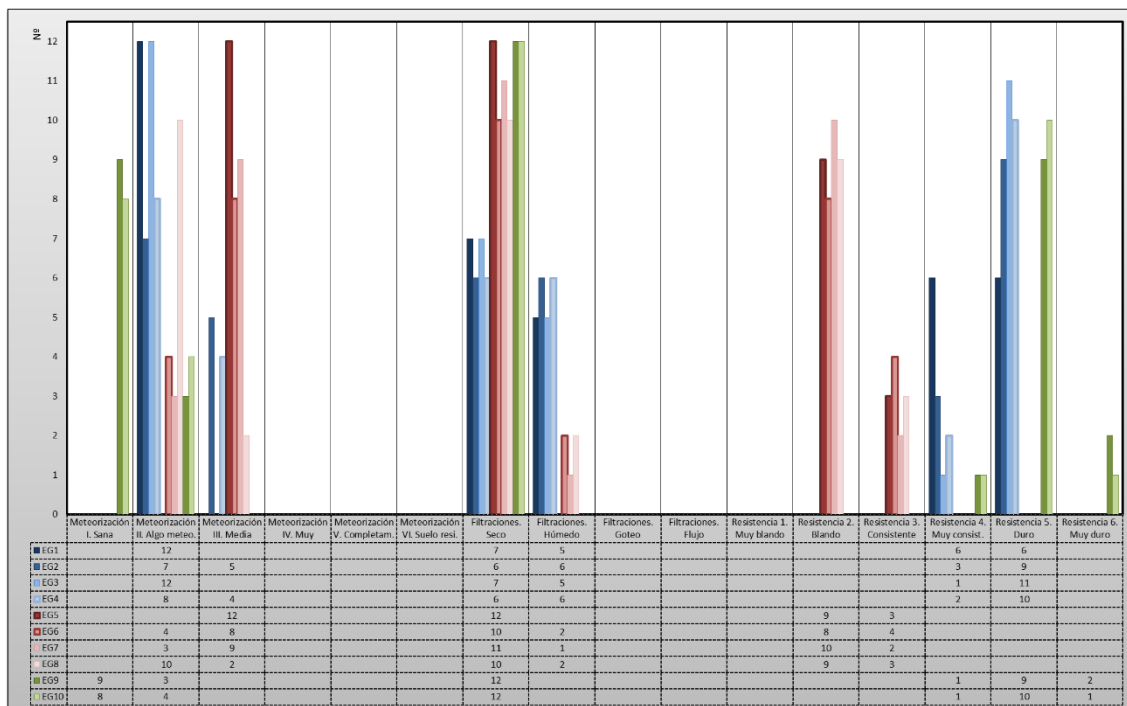


Figura 3.7. Representación gráfica de las características de los rellenos de las discontinuidades

Los espesores son menores a 1 mm en todos los afloramientos mayor proporción de elementos carbonatados, y se sitúan en el entorno de 1 mm en los afloramientos con menor proporción.

Fijándonos en el primer parámetro de la tabla, el espesor, se puede apreciar que en ninguno de los casos el espesor es superior a 1 mm, lo que nos pone de relieve que en ningún caso hay espesores demasiado significativos. Existe una clara diferenciación entre las formaciones carbonatadas, donde el relleno es muy pequeño, inexistente en muchas juntas,

---

y las formaciones margosas, donde aunque el relleno sigue siendo muy pequeño, si es más fácil de apreciar.

En cuanto a la alteración que presenta el relleno existe también una clara diferencia entre litologías. En las formaciones carbonatadas este está escasamente alterado, en consonancia con el propio macizo rocoso. En cambio en las formaciones margosas este parece presentarse algo más alterado, favoreciendo, junto con la alta densidad de discontinuidades, que en este caso el macizo rocoso tenga una apariencia mucho menos maciza y compacta.

En cuanto a lo concerniente a la presencia de agua en las juntas, existe una situación generalizada de ausencia de la misma. Ninguna de las juntas ni los rellenos analizados tenía presencia significativa de agua. Si existía cierta humedad en algunos afloramientos, sobre todo en los que están situados en la costa, pero en ese caso no sería por un flujo interno al macizo rocoso por lo que no se consideraría relevante para el estudio.

Finalmente, el último parámetro estudiado fue la resistencia que presenta el relleno, lo que se llevó a cabo haciendo uso del martillo Schmidt, aunque con cierta dificultad debido al escaso espesor del material. En este caso de nuevo se encuentra una diferencia entre las dos litologías. En el caso de las rocas carbonatadas las juntas se presentan apretadas y con aparente resistencia al movimiento relativo de los bloques. En las rocas margosas los bloques están más sueltos y con mayor facilidad de deslizamiento.

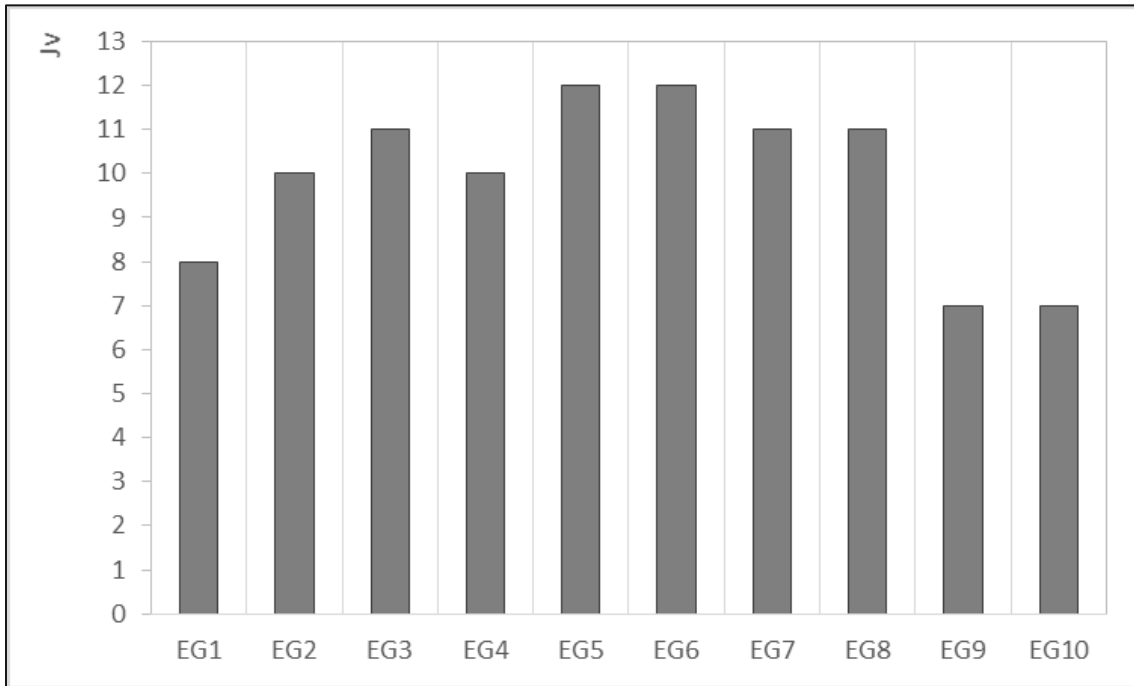
### 3.2.3. Densidad de fracturación

En esta última parte del estudio consideraremos la cantidad de discontinuidades que encontramos en el macizo rocoso. Con estos datos queremos dar una idea de en qué medida se encuentra fracturado y disgregado el macizo, dato fundamental para entender su posible comportamiento geotécnico.

#### 3.2.3.1. *Discontinuidades por unidad de volumen ( $J_v$ )*

Considerando todas las familias de discontinuidades en su conjunto para cada uno de los afloramientos existe una dispersión de resultados entre 7 y 12 juntas/m<sup>2</sup> (Fig. 3.8.). Estos valores son típicos para afloramientos de macizos rocosos en este tipo de rocas evaporíticas.

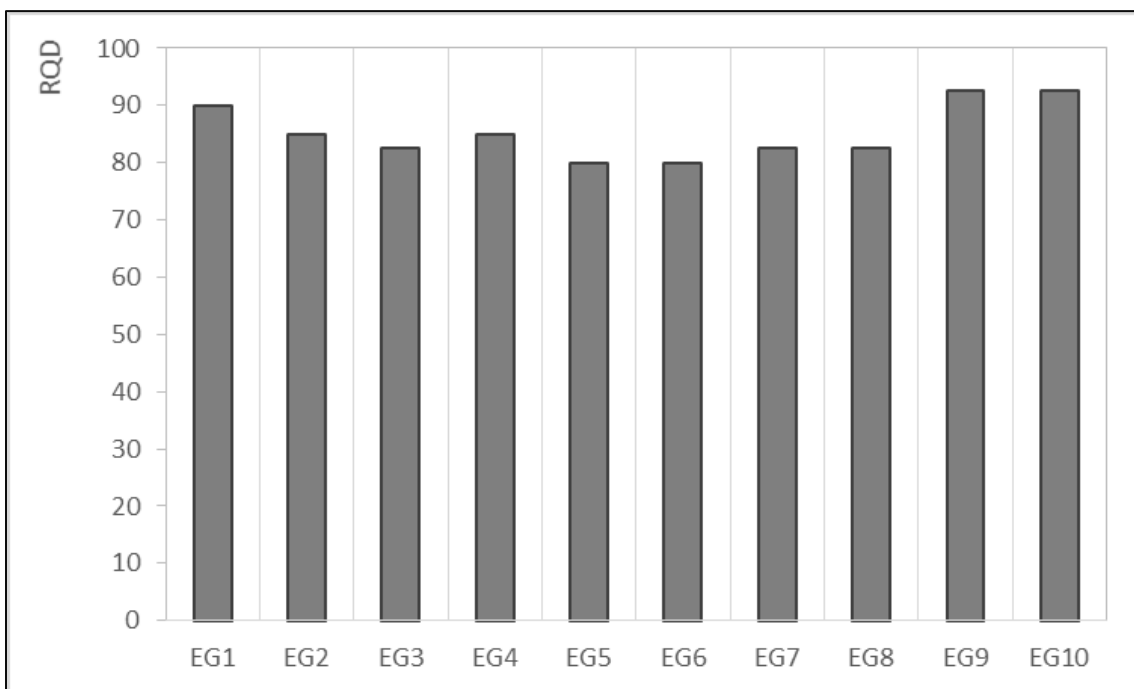
Los resultados, como en los casos anteriores, presentan unos resultados que se pueden clasificar según la litología, estando los afloramientos 5, 6, 7 y 8 más rotos que el resto, y entre estos los dos situados en la zona continental son los que presentan los valores más bajos (macizo más compacto).



**Figura 3.8.** Representación gráfica de Jv para cada estación

### 3.2.3.2. RQD

En cuanto al valor de RQD que obtendríamos, derivado directamente de la densidad de discontinuidades por unidad de volumen, sería que la distribución va desde 92,5 para los macizos más compactos hasta 80 para los menos (Fig 3.9).



**Figura 3.9.** Representación gráfica de RQD

### 3.2.4. Clasificación de macizos

En este apartado expondremos los resultados de la tarea final que se llevó a cabo en campo para completar esta parte del estudio: la clasificación de los macizos rocosos, siguiendo criterios académicos, en cada una de las estaciones geomecánicas, haciendo uso de los datos recopilados previamente. Con ello se logrará un reconocimiento completo de los macizos rocosos de estudio.

Los criterios que seguimos para hacer estas clasificaciones serán de los más extendidos y conocidos en el mundo de la geotécnica: el Índice de Resistencia Geológica (GSI en inglés) de Hoek (1994), la clasificación RMR de Bieniawski (1973), y la clasificación Q de Barton et al. (1974).

#### 3.2.4.1. Calidad de los macizos

La aplicación a los macizos investigados de las clasificaciones más frecuentemente utilizadas reportó resultados complementarios entre sí. Se puede decir que los macizos se agrupan en tres categorías tanto contemplando su RMR como la Q (Tabla 3.2).

		EG1	EG2	EG3	EG4	EG5	EG6	EG7	EG8	EG9	EG10	
<b>GSI</b>	<b>Rango</b>	63-67		53-57		48-52			68-72			
	<b>Calida</b>	Bueno		Medio-bueno		Medio			Bueno			
<b>RMR</b>	<b>Valor</b>	77		72		61			82			
	<b>Clase</b>	II				III				I		
	<b>Descri</b>	Bueno				Medio				Muy bueno		
<b>Q</b>	<b>Valor</b>	6	5,667	5,5	5,667	3,556		3,667		12,333		
	<b>Calific</b>	Roca media				Roca mala				Roca buena		
	<b>Qc</b>	3,508	3,313	3,38	3,313	1,158	0,91	1,38	1,194	8,801	10,219	

**Tabla 3.2.** Valoración de la calidad de los macizos según las distintas clasificaciones

Las estaciones geomecánicas radicadas en Tremañes se califican como ‘macizo medio según RMR y ‘roca mala según la Q, y en extremo opuesto en calidad los afloramientos de Bernueces constituyen respectivamente ‘macizo muy bueno’ y ‘roca buena’. En situación intermedia tanto para RMR como para Q están las estaciones del cerro de Santa Catalina y El Rinconín. Difiere, aunque ligeramente esta división si entra en juego el GSI, ya que mantiene una catalogación de macizos muy similar. Para completar esta valoración se ha determinado también el valor de QC (Barton, 2002); esta modificación de la Q clásica fue concebida para introducir como variable en la calificación del macizo un parámetro intrínseco de la roca matriz como es la resistencia a compresión simple tal que  $QC = Q \cdot (\sigma_{ci}/100)$ .

### 3.2.4.2. Relaciones empíricas

Con el limitado número de estaciones geomecánicas disponible es difícil encontrar correlaciones entre clasificaciones con un buen ajuste. Lo habitual para abordar esta búsqueda es basarla en decenas de macizos rocosos. Sin embargo, se ha intentado confrontar los datos disponibles para al menos comprobar las tendencias. En primer lugar, se evaluó la conocida correlación lineal entre RMR y GSI (Hoek et al., 1995) la cual muestra para los macizos estudiados un cierto desajuste, pero una tendencia también lineal y de pendiente muy similar (Fig. 3.10.).

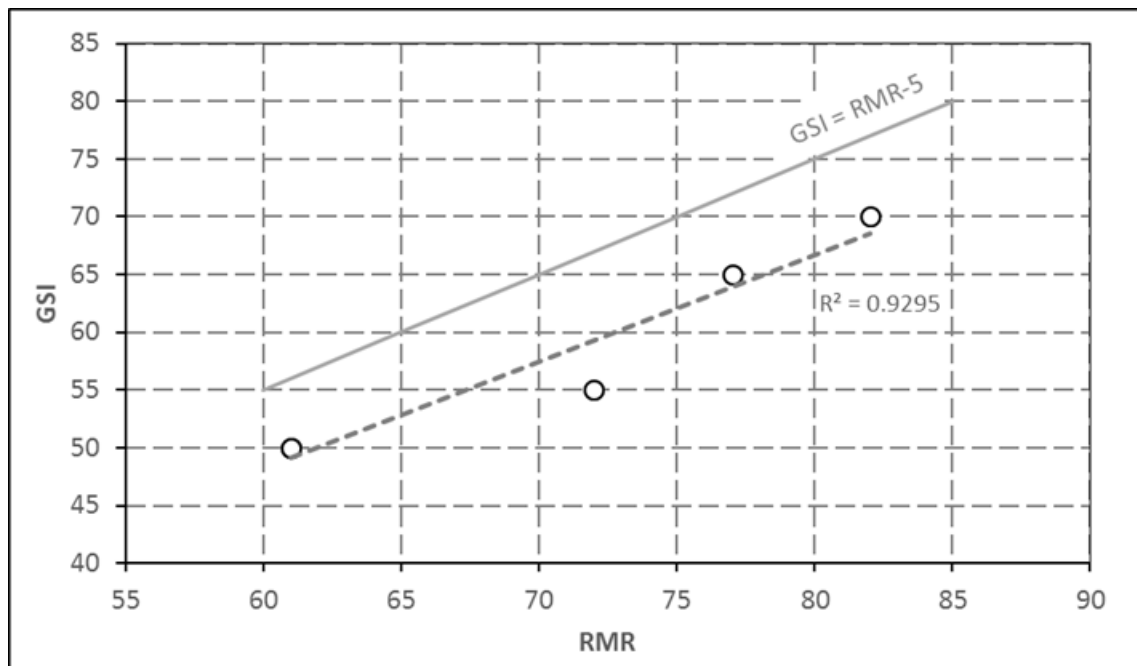


Figura 3.10. Correlación entre RMR y GSI para esta investigación

Por otra parte, es frecuente intentar encontrar una relación entre RMR y Q, algo para lo que existen múltiples propuestas de diferentes autores. En este trabajo se ha buscado si el ajuste se asemeja a relaciones propuestas en la bibliografía, pero el limitado número de valores no permite establecer conclusiones al respecto; únicamente que existe un buen ajuste exponencial (Fig. 3.11).

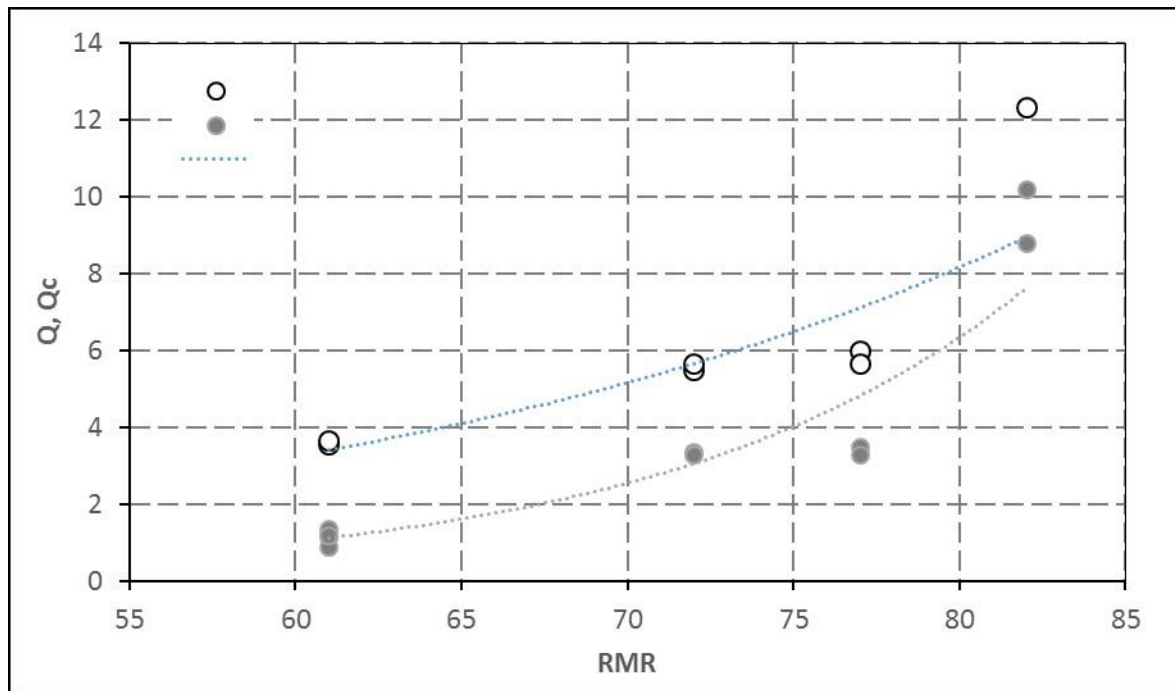


Figura 3.11. Correlación entre RMR y Q, Qc para esta investigación

### 3.2.5. Parametrización de macizos

En este último apartado expondremos unos parámetros calculados a partir de los datos recabados que nos servirán para una caracterización geotécnica de los afloramientos más concreta, con unos valores comparables en una escala. Con ello se logrará un reconocimiento completo de los macizos rocosos de estudio.

#### 3.2.5.1. Deformabilidad

El módulo de deformación del macizo rocoso ( $E_m$ ), a diferencia de aquel correspondiente a la matriz rocosa raramente se obtiene de forma directa por lo complejo que resulta; bien a través de ensayos específicos o a través de métodos sísmicos. Sin embargo, es un parámetro muy útil para cuantificar la deformabilidad del macizo por lo que a lo largo del tiempo diversos autores han propuesto formas indirectas de determinarlo, sobre todo partiendo de la calidad del macizo establecida según las clasificaciones tradicionales como las que incluye este trabajo (GSI, RMR y Q), e incluso tomando en consideración algún parámetro intrínseco de la roca matriz como es su módulo de elasticidad ( $E_i$ ).

En este trabajo se ha optado por aproximar el módulo de deformación mediante distintas fórmulas:

$$E_m (\text{GPa}) = 25 \cdot \log_{10} Q$$

Para  $Q > 1$  (Grimstad y Barton, 1993)

$$E_m (\text{GPa}) = 8 \cdot Q^{0.4}$$

Para  $1 < Q < 30$  (Palmström y Singh, 2001)

$$E_m \text{ (GPa)} = 10 \cdot Q_C^{1/3} \quad \text{(Barton, 2002)}$$

$$E_m \text{ (GPa)} = E_i \cdot e^{\frac{RMR-100}{36}} \quad \text{(Galera et al., 2005)}$$

$$E_m \text{ (GPa)} = E_i \cdot \left( 0,02 + \frac{1 - \frac{D}{2}}{1 + e^{(60+15D-GSI)/11}} \right) \quad \text{(Hoek y Diederichs, 2006)}$$

Para emplear las dos últimas propuestas fue necesario estimar un módulo de elasticidad para las rocas, ante la ausencia de datos propios o de terceros con la suficiente representatividad. Para ello se acudió a la información más directa sobre el comportamiento mecánico de la roca de los afloramientos: el rebote esclerométrico determinado (R) durante el trabajo de campo. Así, para obtener este parámetro (Ei) se recurrió a la relación empírica de Sachpazis (1990) deducida para rocas carbonatadas (Tabla 3.3.).

Fórmula	EG1	EG2	EG3	EG4	EG5	EG6	EG7	EG8	EG9	EG10
$E_i \text{ (GPa)} = \frac{(R - 17,488)}{0,5155}$	34	34	36	34	13	3	19	13	42	48

Tabla 3.3. Estimación del módulo de Young de las rocas

Con esta información se calcularon los módulos de deformación de los diez macizos rocosos investigados, obteniéndose los resultados que recoge la Figura 3.12. Como se puede observar, comparativamente la menor dispersión de valores de Em se da en los macizos rocosos de calidad RMR ‘buena’ (EG1 a EG4), con coeficientes de variación de entre 0,09 y 0,14; mientras que en los de calidad ‘muy buena’ (EG9 y EG10) se incrementa esta variable hasta 0,2. Los macizos EG5 a EG8 ofrecen las mayores diferencias de módulos de deformación, particularmente por la minoración que ocasiona el considerar como parámetro de entrada el módulo de elasticidad de la roca matriz.

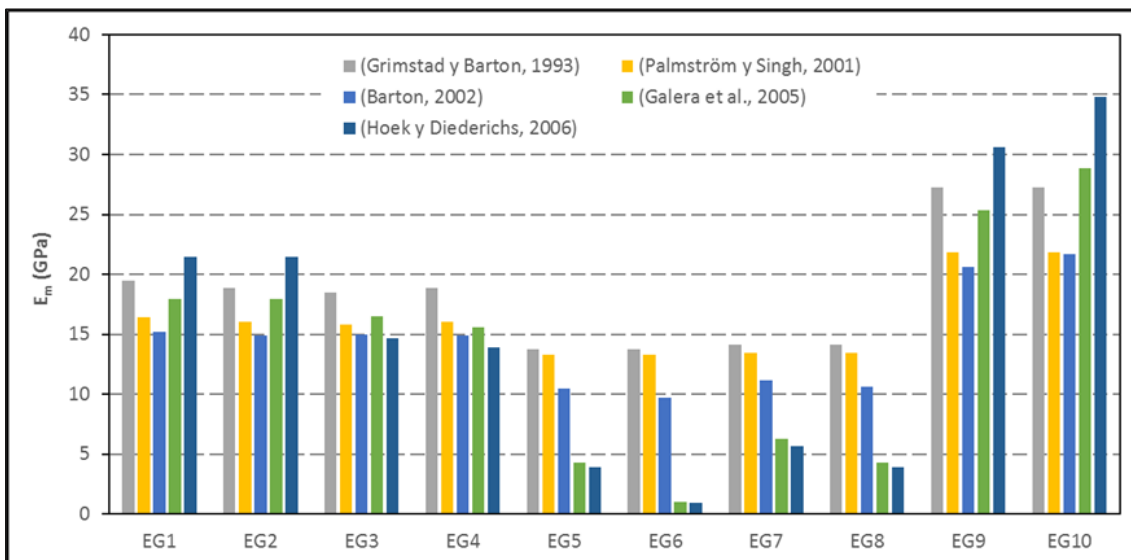


Figura 3.12. Módulos de deformación estimados para los macizos rocosos

La Tabla 3.4. muestra los módulos de deformación en media aritmética de los resultados anteriormente comentados, para cada afloramiento rocoso.

	EG1	EG2	EG3	EG4	EG5	EG6	EG7	EG8	EG9	EG10
$E_m$ (GPa)	18	18	16	16	9	8	10	9	25	27

Tabla 3.4. Valores de módulo de deformación promedio estimados para los macizos

### 3.2.5.2. Criterio de rotura

Como último paso para caracterizar el comportamiento de los macizos rocosos investigados se aplicó el ampliamente aceptado criterio de rotura de Hoek-Brown de envolvente no lineal, el cual permite estimar parámetros de comportamiento mecánico a escala de macizo de notable interés aplicado; entre otros usos constituyen valores de entrada para procedimientos de cálculo geotécnico y software de modelización por métodos numéricos. Los resultados se presentan en la Tabla 3.5.

		EG1	EG2	EG3	EG4	EG5	EG6	EG7	EG8	EG9	EG10
Entrada de datos	$\sigma_{ci}$ (MPa)	58		61	58	33	26	38	33	71	83
	GSI	65		55		50			70		
	$m_b$	9									
	D	0									
Criterio	$m_b$	2,579	2,579	1,804	1,804	1,509	1,509	1,509	1,509	3,083	3,083
	s	0,020 5	0,020 5	0,007	0,007	0,004	0,004	0,004	0,004	0,036	0,036
	a	0,502	0,502	0,504	0,504	0,506	0,506	0,506	0,506	0,501	0,501
Mohr-Coulomb	c (MPa)	3,643	3,643	3,197	3,04	1,592	1,254	1,833	1,592	4,954	5,791
	$\Phi$ (°)	33,97	33,97	31,08	31,08	29,62	29,62	29,62	29,62	35,37	35,37
Parámetros de macizo rocoso	$\sigma_1$ (MPa)	-0,46	-0,46	-0,22	-0,22	-0,09	-0,07	-0,1	-0,09	-0,822	-0,961
	$\sigma_c$ (MPa)	8,234	8,234	4,907	4,666	1,987	1,566	2,289	1,987	13,35	15,61
	$\sigma_{cm}$ (MPa)	13,69	13,69	11,32	10,77	5,474	4,313	6,303	5,474	19,19	22,43
	$E_m$ (GPa)	18,06	18,06	10,42	10,16	5,74	5,1	6,16	5,74	26,65	28,81

Tabla 3.5. Resultados de la aplicación del criterio de rotura de Hoek y Brown



---

Si se comparan los módulos de deformación del macizo rocoso aquí obtenidos con los anteriormente estimados en promedio a partir de clasificaciones, se observa una excelente correspondencia en EG1 y EG2. Algo que también sucede en EG9 y EG10 donde la variación es pequeña. No ocurre lo mismo con EG3 y EG4; con una calidad mecánica de matriz rocosa similar a los macizos de Cimadevilla la reducción de GSI penaliza el valor de Em. Finalmente, en los macizos rocosos de Tremañes el módulo de deformación estimado mediante el criterio de rotura ha sido sensiblemente inferior (hasta un 40%) respecto promedio del calculado a través de clasificaciones.

---

### 3.3. Caracterización de laboratorio

Se detallan a continuación los resultados obtenidos en laboratorio durante el reconocimiento de las muestras y tras la ejecución de las pruebas de carga puntual.

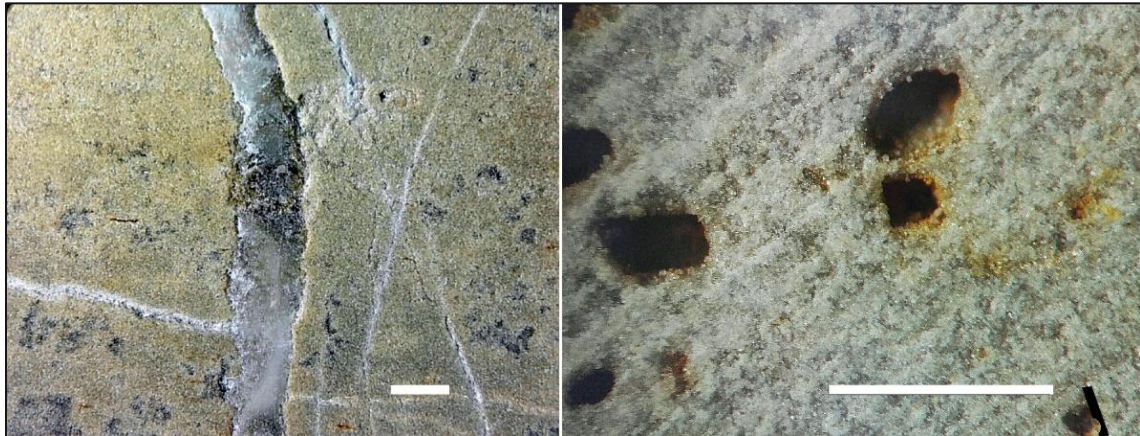
#### 3.3.1. Descripción e identificación

Se comienza por una descripción de cada una de las muestras tomadas y preparadas para su ensayo en laboratorio.

##### 3.3.1.1. Reconocimiento macroscópico

La observación de las muestras una vez eliminada la alteración superficial, puntualmente con la ayuda de una lupa binocular, permitió una inspección preliminar de la matriz rocosa. En todos los casos el grano es demasiado fino como para estimar su tamaño a simple vista. Las principales características reconocidas en cada caso fueron:

- Muestra tomada en EG1 (M-EG1): Matriz carbonatada grisácea clara con bandeo milimétrico a submilimétrico. Bandas centimétricas pardo-amarillentas de grano muy fino presumiblemente de origen sedimentario. Fisuras y vetas perpendiculares a la estratificación (Fig. 3.13.). Muy poca efervescencia en contacto con HCl salvo en vetas.
- M-EG3: Roca pardo-amarillenta de aspecto homogéneo. De tacto suave, se llega a deshacer y mancha los dedos sin que se aprecie efervescencia con HCl. Durante el corte de los bloques para el ensayo de carga puntual se mostró poco resistente, especialmente en presencia de agua rompiendo con facilidad. En otras partes la muestra aparece más cristalina, coloración más clara y ligeramente más resistente.
- M-EG4: Matriz carbonatada de aspecto masivo y color gris claro. En algunas partes la roca pasa a tener tono amarillento. No se advierte efervescencia en presencia de ácido clorhídrico.
- M-EG5: Roca carbonatada de color gris más oscuro que en las muestras anteriores. Aspecto bandeado, y porosidad dispersa reconocible a simple vista de tamaño máximo en torno a 0,5 mm (Fig. 3.13.). Se produjo efervescencia con HCl, reducida pero más que ninguna de las muestras anteriores.



**Figura 3.13.** Heterogeneidades en las muestras M-EG1 (izquierda) y M-EG5 (derecha). La longitud de la línea blanca representa 1 mm

### 3.3.1.2. Composición

Las determinaciones de composición química llevadas a cabo mediante fluorescencia de rayos X aportaron los resultados mostrados en la Tabla 3.6. A falta de un análisis más exhaustivo de los datos cabe destacar el elevado contenido general en calcio y magnesio, propio de rocas de fuerte componente carbonatado, y la concentración de sílice notablemente más elevada –en términos relativos– en las muestras tomadas en EG3 y EG5 respecto a las otras dos.

(%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	Total
M-EG1	0,14	0,18	0,72	0,07	21	30,53	0,04	0,03	0,01	0	47,06	99,77
M-EG3	3,46	1,24	1,44	0,04	20,13	28,35	0,04	0,47	0,05	0,02	44,81	100,05
M-EG4	0,14	0,17	0,77	0,07	21,01	30,5	0,03	0,03	0,01	0	47,07	99,79
M-EG5	2,22	0,83	0,48	0,02	19,95	30,41	0,06	0,24	0,04	0,02	45,68	99,95

**Tabla 3.6.** Composición química de las muestras

Mediante difracción de rayos X se identificaron diversas fases minerales (Tabla 3.7.), teniendo en cuenta que si una fase está presente en un contenido por debajo del 3 % (a veces hasta el 5 %) no es detectable. El mineral más abundante en las cuatro muestras es la dolomita, algo totalmente coherente con lo aportado por el análisis químico; en dos de ellas –y también siendo previsible con el quimismo– se identificó cuarzo, y únicamente en la muestra tomada en EG5 la calcita alcanzó la concentración suficiente como para ser detectada.

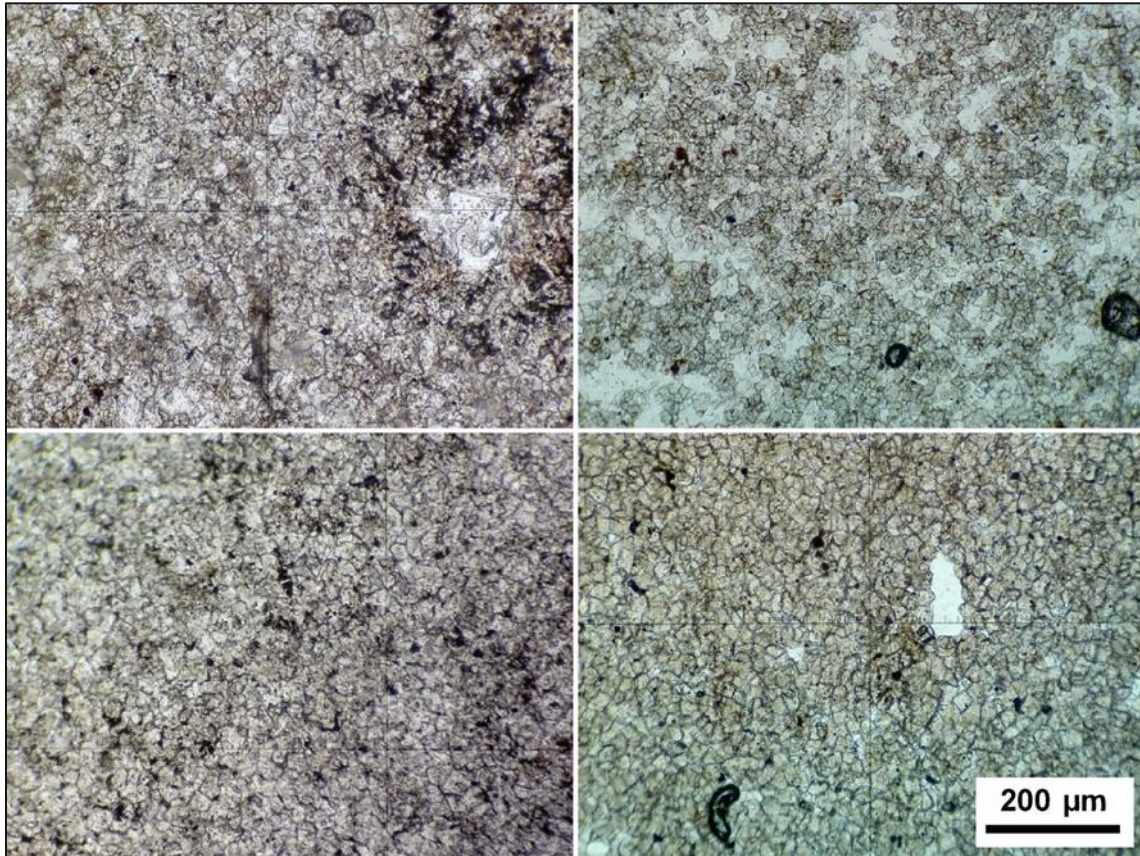
	Dolomita	Calcita	Cuarzo
M-EG1	—		
M-EG3	—		—
M-EG4	—		
M-EG5	—	—	—

**Tabla 3.7.** Fases minerales identificadas en las muestras

Las analíticas en conjunto resultaron bastante concluyentes, mostrando un predominio muy marcado de dolomita frente a calcita, y presencia de terrígenos en pequeña proporción apenas detectada mediante difracción en dos muestras. Sin entrar en detalles al exceder el propósito de este trabajo, cálculos efectuados por el Profesor Daniel Arias asignaron proporciones de dolomita de 91,26 % (M-EG5), 92,01 % (M-EG3), 96,07 % (M-EG1) y 96,11 % (M-EG4). Por tanto, atendiendo a su quimismo y mineralogía las rocas se clasifican, todas ellas, como dolomías.

### 3.3.1.3. Reconocimiento microscópico

En el microscopio petrográfico las cuatro rocas presentaron una gran similitud textural (Fig. 3.14.), con fábrica cristalina constituida por un mosaico de cristales de dolomita equidimensionales euhedrales o subeuhedrales con tamaños comprendidos mayoritariamente entre 20 y 40  $\mu\text{m}$ . Dicho tamaño, al estar por debajo en muchos casos del espesor de la lámina seguramente provoca que la visión de los granos, al superponerse, no sea demasiado buena siendo M-EG5 donde mejor se aprecian. El teñido parcial de las láminas permitió por su parte reconocer fácilmente las vetas y cristales aislados de calcita (p.ej., en M-EG1). También se pudieron observar por ejemplo cristales de cuarzo en M-EG3, con tamaños hasta varias veces superiores a la dolomita, así como la porosidad destacable que posee la muestra M-EG5.



**Figura 3.14.** Aspecto en microscopía óptica (nicoles paralelos) de las cuatro rocas muestreadas de izquierda a derecha y de arriba a abajo

### 3.3.2. Peso específico

En la Figura 3.15. se presentan los resultados obtenidos al determinar el peso específico seco de los bloques ensayados en carga puntual. Asumiendo las limitaciones del método y la dispersión de valores mostrada, en parte causada con seguridad por errores operativos al realizar las medidas y que se revela en algunos valores anómalos, se pueden efectuar algunas apreciaciones.

En conjunto, los pesos específicos entran mayoritariamente dentro del rango esperable en rocas carbonatadas. La roca más densa es la muestreada en EG4 con una mediana de 26,1 kN/m<sup>3</sup>, al tiempo que es la que presenta menor rango intercuartílico, hecho consecuente con su elevada homogeneidad. La sigue en valores M-EG1 (25,8 kN/m<sup>3</sup>). Cabe recordar que ambas son las rocas con mayor porcentaje de dolomita en su composición. Por su parte M-EG5 ofrece una mayor dispersión que las anteriores y una mediana reducida a 24,9 kN/m<sup>3</sup>. Con diferencia la muestra de roca alterada obtenida en EG3 proporcionó el peso específico más bajo, con un Q2 de 22,2 kN/m<sup>3</sup>.



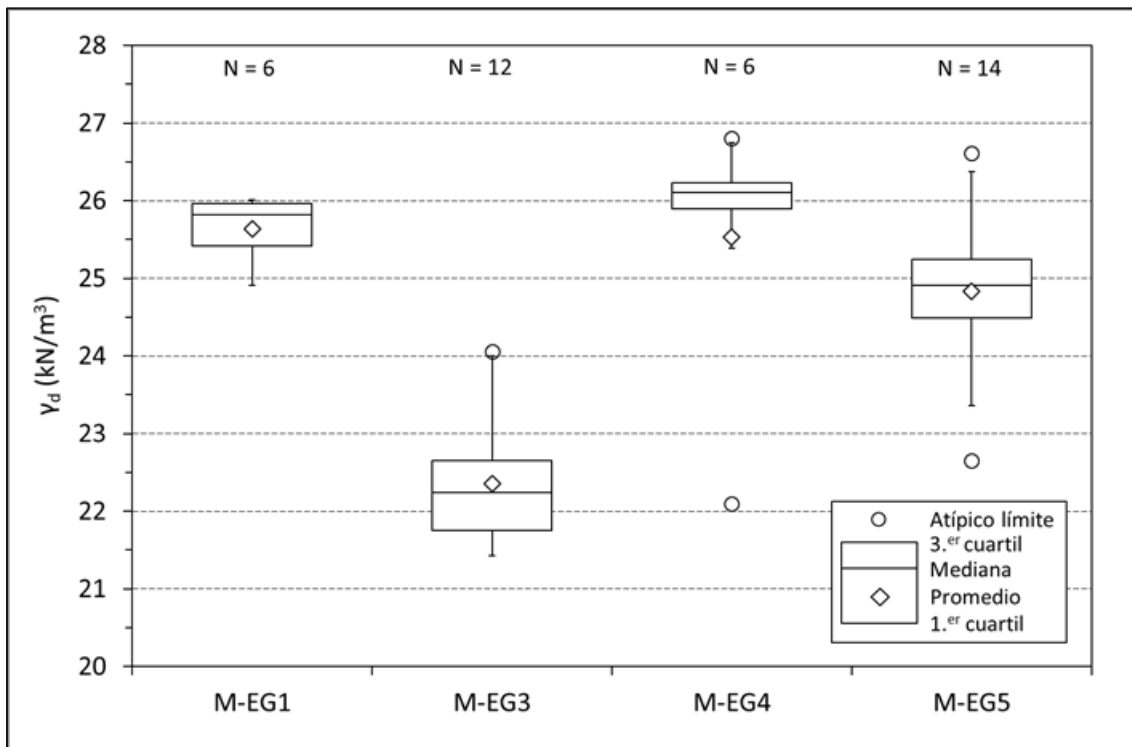


Figura 3.15. Valores de peso específico seco determinados para los bloques cortados a partir de las muestras tomadas en campo

### 3.3.3. Rotura bajo carga puntual

Del total de bloques preparados para el ensayo algunas pruebas fueron descartadas al no cumplir la rotura producida con los requisitos que fija la norma de ejecución. Además se sesgaron algunos valores de carga muy bajos en que la rotura tuvo lugar a favor de superficies de manifiesta debilidad, caso de fisuras subparalelas a la dirección de aplicación de la carga; se procuró por tanto priorizar las medidas en que la fractura se abrió camino a través de roca matriz.

Así, y tras los pertinentes cálculos siguiendo la norma UNE correspondiente, la Figura 3.16 recoge los valores finales de  $I_s(50)$  determinados para los bloques ensayados en cada muestra. En general se considera que los valores obtenidos son elevados, en términos relativos, seguramente porque se han ensayado bloques homogéneos y con formas regulares en lugar de fragmentos irregulares; sin olvidar que la compresión se efectuó perpendicularmente a la fábrica de la roca y por tanto en condiciones de máxima resistencia.

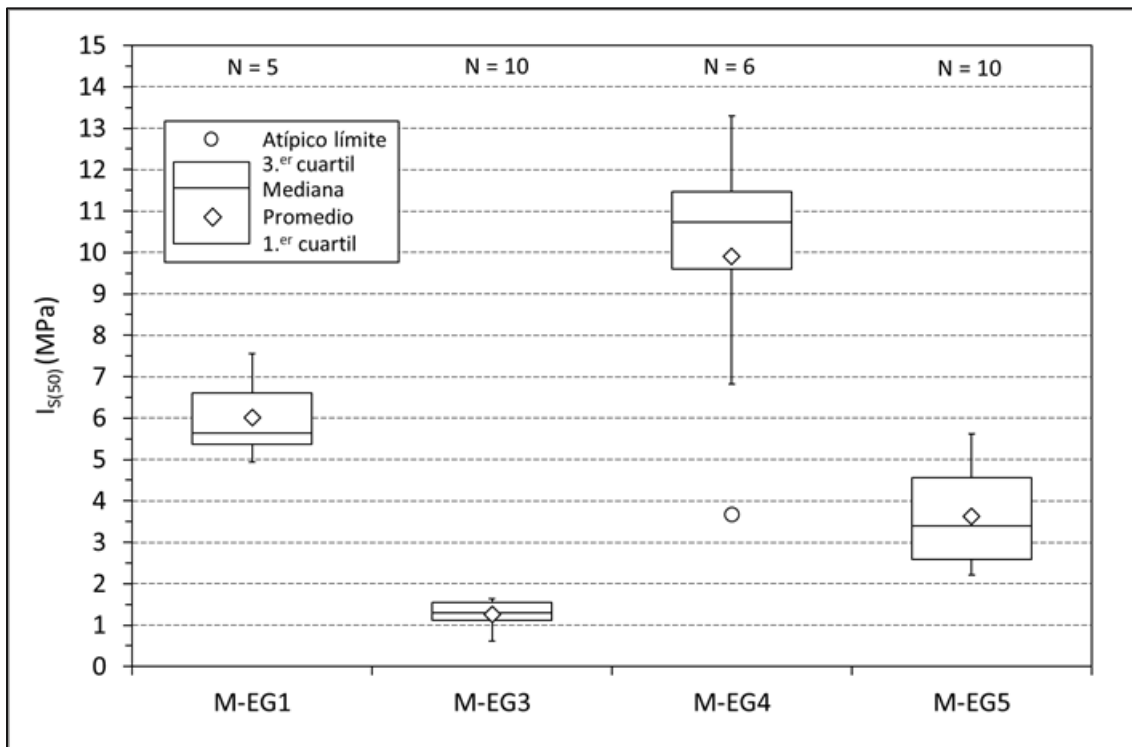


Figura 3.16. Valores de carga puntual corregida determinados para los bloques ensayados

Para la determinación del valor medio final en cada litología se procedió de acuerdo a la norma. Dado el número de roturas válidas en los bloques procedentes de las estaciones EG3 y EG5 (10 en cada caso), se eliminaron los dos valores más altos y más bajos. Por su parte para EG1 y EG3, con 6 roturas válidas para cada litología, se sustrajeron únicamente los dos valores extremos superior e inferior. Los valores medios definitivos para las muestras ensayadas quedan recogidos en la Tabla 3.8.

	M-EG1	M-EG3	M-EG4	M-EG5
$I_{s(50)}$ (MPa)	5,87	1,32	10,6	3,55

Tabla 3.8. Índice de carga puntual corregido medio para las muestras ensayadas

Los resultados de carga puntual reflejan la significativa mayor calidad mecánica de la muestra tomada en el afloramiento EG4 en El Rinconín, con un índice de resistencia corregido en torno a la decena, lo cual según la clasificación de Broch y Franklin (1972) se considera ‘muy alto’. M-EG1 la sigue en resistencia y debe recordarse de nuevo que a la anterior son las rocas con mayor proporción de dolomita.

En el extremo opuesto y como resultaba previsible por su aparente debilidad durante el corte, la roca M-EG3 aportó –con valores muy homogéneos– la menor resistencia con un valor medio ligeramente por encima de la unidad, lo que los autores anteriores califican como calidad ‘media’. Por otro lado, aprovechando las medidas de densidad seca se

---

enfrentaron los valores con los de carga puntual, obteniéndose –como es esperable– una relación general de incremento de resistencia con la densidad; el mejor ajuste encontrado corresponde a un modelo potencial con  $R^2$  de 0,72.



### 3.4. Evaluación geotécnica

Una forma de validar el interés aplicado de una investigación como la que aquí se presenta es emplear los resultados de la caracterización, particularmente los datos numéricos, para aproximar el comportamiento o aptitud de los materiales estudiados en la realidad constructiva. Para ello se han evaluado de forma preliminar tres cuestiones fundamentales vinculadas con el comportamiento geotécnico de toda unidad geológica: su excavabilidad, las condiciones de estabilidad en taludes, y la capacidad portante que presenta ante apoyos de cimentación de estructuras.

#### 3.4.1. Excavabilidad

Para estimar la excavabilidad orientativa de los términos carbonatados de la Formación Gijón en excavaciones urbanas –las más frecuentes en el ámbito de estudio–, existen diferentes variables que pueden tomarse como referencia: velocidad de ondas sísmicas, resistencia a compresión simple, espaciado entre discontinuidades, meteorización de la roca, abrasividad, etc. En este caso, dados los datos de partida disponibles se ha optado por la propuesta de Pettifer y Fookes (1994) que relaciona una variable intrínseca a la roca matriz, como es su resistencia mecánica anteriormente determinada, con el grado de fracturación del macizo rocoso. Los resultados se muestran en la Figura 3.17.

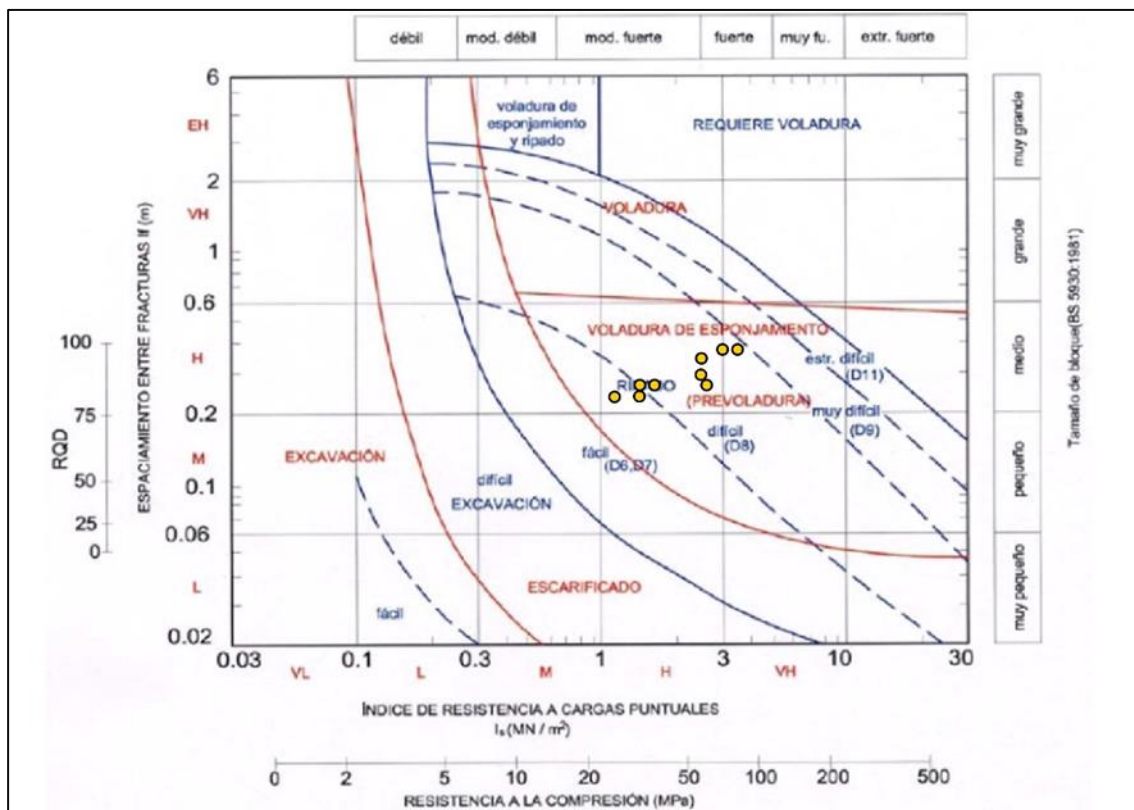


Figura 3.17. Excavabilidad de los macizos rocosos investigados en la Fm. Gijón

---

Todos los macizos estudiados presentan valores intermedios, que no llegan ni a ser excelentes ni demasiado pobres, siendo por ello potencialmente excavables de forma económica.

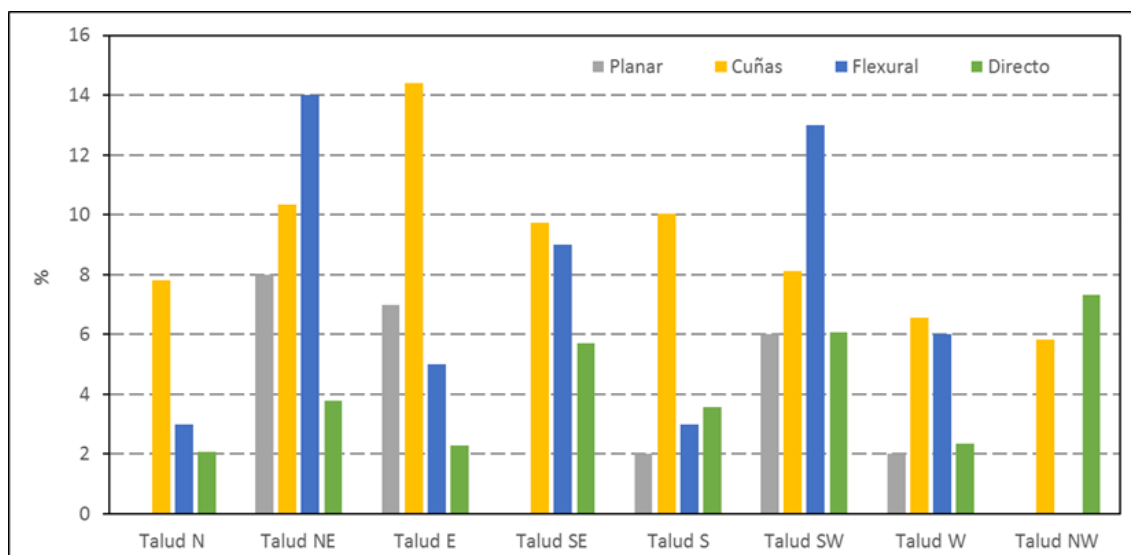
Los macizos rocosos dolomíticos y más compactos estarían en la parte más alta de la muestra, siendo incluso necesario utilizar explosivos de alta velocidad de detonación para crear nuevas superficies de rotura. Los macizos rocosos con mayor mezcla carbotada-silíceas y mayor presencia de discontinuidades están en la parte más baja, siendo en este caso explotables mediante voladuras de empuje o baja velocidad de detonación, o incluso mediante medios mecánicos (riper).

#### 3.4.2. Estabilidad de taludes

En lo que respecta a la estabilidad de los taludes excavados en la Formación Gijón, son conocidos los problemas puntuales generados por la cobertera de alteración que se superpone al sustrato rocoso (p.ej., López Fernández et al., 2006).

Para una evaluación preliminar, cuantificada, de la estabilidad de frentes rocosos en esta unidad se han empleado los datos procedentes de las estaciones geomecánicas levantadas. Dado que este trabajo de investigación es introductorio y orientativo, el propósito en este subapartado ha sido estimar con la información sobre discontinuidades –considerando todas ellas– las potenciales inestabilidades para taludes ‘teóricos’ con elevada pendiente (80º) y distintas orientaciones; en concreto con direcciones de buzamiento según los ocho principales puntos cardinales.

La evaluación de la estabilidad de los macizos se efectuó a través de análisis geométrico y cinemático de cuñas rocosas mediante proyección estereográfica, empleando para el tratamiento de los planos de discontinuidad el programa informático Rocscience Dips (v6.0). Los mecanismos de rotura investigados, cuantificados por porcentaje de planos o intersecciones críticas, fueron: deslizamiento planar, cuñas por intersección de planos, vuelco flexural y vuelco directo (Fig. 3.18). Para alcanzar unos resultados conservadores, y por ello más críticos que los que con seguridad lleguen a darse en la práctica, se ha impuesto de forma generalizada y para simplificar la comparativa un ángulo de rozamiento en junta de 25º.



**Figura 3.18.** Análisis de estabilidad de taludes rocosos en la Fm. Gijón

En general los porcentajes de planos e intersecciones críticas para el conjunto de orientaciones son bajos (< 15 %), y llegan a ser nulos para ciertas combinaciones de rotura y disposición de talud. Esto refleja una realidad percibida en las estaciones geomecánicas: la configuración estructural de los taludes en la Fm. Gijón les permite alcanzar la verticalidad sin mayores problemas al no resultar especialmente destabilizante ningún mecanismo de rotura. Si se entra más en detalle se observa cómo a priori los taludes que buzan hacia el NE y SW son los que alcanzan mayor porcentaje de fallo, encontrándose en el extremo opuesto los que se inclinan hacia N y NW.

En cuanto a los mecanismos de rotura el de menor incidencia en todos los taludes es el deslizamiento planar, mientras que la formación de cuñas y el vuelco flexural son por este orden los más probables.

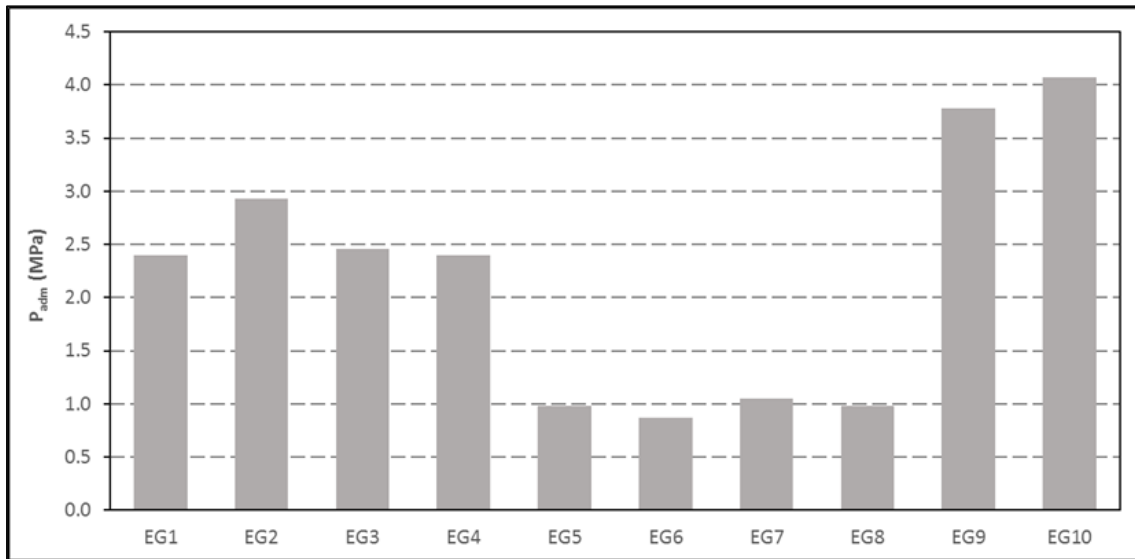
### 3.4.3. Capacidad portante

Aprovechando la información generada sobre los macizos rocosos investigados, se ha abordado el cálculo de su capacidad como nivel de apoyo para cimentación directa de estructuras.

Para llevar a cabo esta determinación, como se indicó en el apartado metodológico de este trabajo, se adoptó el procedimiento recogido en la normativa correspondiente a obras lineales, dado que se cumplen las circunstancias impuestas para admitir cálculo sobre roca; esto es resistencia a compresión uniaxial superior a 1 MPa, RQD por encima del 10 % y grado de meteorización menor a cuatro. Y por otro lado se asumen varias condiciones de contorno: cimentación mediante zapata aislada, pendiente de terreno y estratificación subhorizontal, inexistencia de agua, ausencia de karstificaciones, inclinación de las acciones

---

no superior al 10 %, área de apoyo inferior a 100 m<sup>2</sup> y presión de servicio no superior a 5 MPa. Las presiones verticales admisibles para cada macizo rocoso se recogen la Figura 319.



**Figura 3.19.** Capacidad portante para cimentaciones directas sobre los macizos rocosos

Por su calidad, ya expuesta en apartados precedentes, los macizos rocosos EG9 y EG10 son los que poseen una mayor capacidad portante, cuantificada en más de 3,5 MPa de presión vertical admisible. Por detrás, con presiones entre 2 y 3 MPa, se sitúan los afloramientos del cerro de Santa Catalina y El Rinconín; y finalmente los macizos de Tremañes. Estos últimos, en especial penalizados por la menor calidad mecánica de la roca matriz y el inferior espaciado de la familia más densa de discontinuidades, proporcionan valores de presión admisible en torno a 1 MPa.

---

## 4. CONCLUSIONES

Este trabajo, como se indicó desde un principio, tiene una vocación iniciadora; supone un acercamiento a las propiedades de una formación que no había sido estudiada hasta este momento con enfoque geotécnico. Solamente los depósitos de alteración que se originan por su alteración fueron objeto de investigación por su negativa incidencia geotécnica. Es por ello que las conclusiones aquí obtenidas se espera faciliten la puesta en marcha de futuras investigaciones que permitan profundizar en la caracterización de los materiales rocosos que integran la Fm. Gijón. Las principales conclusiones extraídas del desarrollo de este Trabajo Fin de Máster son:

- En la búsqueda de referentes bibliográficos una fuente primordial han sido los informes geotécnicos en que se recogen ensayos sobre la unidad. En este caso su consulta ha permitido establecer rangos de valores para tres parámetros interesantes: resistencia a compresión uniaxial, densidad seca y abrasividad Cerchar. Del tratamiento estadístico de los datos se deduce que la unidad presenta una variedad de los mismos directamente relacionada con la variabilidad litológica; y que no se puede establecer una asignación directa de parámetros a las distintas litologías, dado que habitualmente no se dispone de información contrastada sobre la naturaleza de las muestras ensayadas. Cabe destacar algunos valores de resistencia a compresión (incluso por encima de 160 MPa) elevados para tratarse de materiales jurásicos, con un promedio para las muestras recopiladas de 44,75 MPa. Las densidades más altas claramente deben corresponder a términos dolomíticos ( $> 2,7 \text{ g/cm}^3$ ); y la mayor parte de las rocas se califican como no agresivas, aunque la presencia de granos de cuarzo ocasionalmente provoca un incremento del índice de abrasividad a valores por encima de 2,5.
- El trabajo de campo permitió caracterizar una decena de macizos rocosos en distintos emplazamientos geográficos del entorno de la ciudad, y correspondientes a dos miembros de la Fm. Gijón. En primer lugar la matriz rocosa mostró grados de alteración de I o II, y una resistencia mecánica determinada mediante esclerómetro variable entre 26 y 83 MPa; en general mostrando buena correspondencia con la apreciación cualitativa mediante golpeo con martillo de geólogo.
- Del análisis de discontinuidades se concluye que hasta tres familias pueden diferenciarse dentro de la unidad con incidencia en la calidad del macizo rocoso, con un espaciado que se sitúa en su punto más frecuente en el entorno de 20, una continuidad de 10 metros de media, considerado un valor moderado, una

---

apertura de las juntas muy pequeña, de media del orden de entre 0,1 y 0,5 milímetros, una rugosidad de juntas muy heterogénea, considerando las diferentes calidades de macizo estudiadas, y una clasificación de los valores de resistencia del relleno en general entre dura o muy dura, con un estado medio de moderadamente meteorizados (considerando en este último caso unos rellenos que no llegan en ningún caso a superar el milímetro de espesor).

- El estudio de la densidad de fracturación indica que el parámetro  $J_v$  varía en los afloramientos entre 7 y 12, lo que determina tamaños de bloque que van desde 'medios (3-10)' a 'pequeños (10-30)'. Obtenido por correlación, el RQD fluctúa a su vez entre 80 y 92,5 lo que indica en atención a este parámetro macizos no demasiado fracturados.
- La clasificación de los macizos rocosos investigados establece hasta tres calidades distintas de macizo según las clasificaciones RMR y Q, con una correspondencia aceptable en cuanto a lo deducido a partir de GSI. A este respecto quedarían agrupadas en categorías las estaciones geomecánicas de Bernueces (las de mayor calidad), las de Tremañes (las de menor) y las del cerro de Santa Catalina y El Rinconín (de calidad intermedia frente a las anteriores). Por otro lado, dentro del limitado número de datos, se encontró una aceptable correlación empírica entre las clasificaciones RMR y Q así como entre RMR y GSI.
- En cuanto a la deformabilidad de los macizos rocosos, se alcanzaron valores muy similares de sus módulos de deformación estimándolos indirectamente a partir de las clasificaciones geomecánicas; en particular para los macizos de calidad 'muy buena' y 'buena' según RMR. Estos valores fueron reafirmados por la parametrización de los macizos siguiendo el criterio de rotura de Hoek-Brown, aportando módulos de deformación ligeramente más conservadores en todos los afloramientos, sólo especialmente rebajados en las estaciones geomecánicas levantadas en frentes rocosos de peor calidad.
- La caracterización de laboratorio permitió estudiar cuatro de las muestras recogidas en campo. La descripción macroscópica reveló heterogeneidades perceptibles visualmente como poros, bandeados y alteraciones de la roca matriz; a través de fluorescencia y difracción de rayos X se determinó que todas las muestras corresponden a dolomías (más de un 90 % de dolomita) acompañada sobre todo por calcita y cuarzo; finalmente mediante microscopía óptica se observó similitud textural entre las rocas muestreadas, siendo común una apariencia de mosaico de cristales de dolomita con tamaños que oscilan entre 20 y 40 micras.

- 
- La estimación del peso específico de las muestras puso de manifiesto discrepancias apreciables a pesar de tratarse de muestras composicionalmente muy similares, muy probablemente por las diferencias de porosidad y el estado de alteración. Posteriormente las pruebas de carga puntual mostraron que también existen diferencias a nivel mecánico, existiendo una correspondencia evidente entre densidad e índice de carga puntual. La muestra más densa y mecánicamente resistente (con valor del índice medio por encima de 10 MPa) fue la de aspecto más homogéneo y mayor contenido en dolomita; en el extremo opuesto la roca menos resistente fue la de aspecto más alterado.
  - La valoración inicial del comportamiento geotécnico de los macizos rocosos condujo a apreciaciones concretas sobre su excavabilidad, la estabilidad de los frentes rocosos y su capacidad portante bajo cimentaciones directas. En general los macizos pueden considerarse roca excavable mediante voladuras de baja densidad o explosivos de baja velocidad de detonación, e incluso ripado. En cuanto a la estabilidad de los taludes generados en ellos, los porcentajes de planos e intersecciones críticas para el conjunto de orientaciones son bajos (< 15 %). La configuración estructural de los taludes en la Fm. Gijón les permite alcanzar la verticalidad en muchos casos. Finalmente, la presión admisible ante el apoyo de una zapata oscila entre los más de 3,5 MPa para los macizos más estables, y valores en el entorno de 1 MPa para los de menor calidad geomecánica.

Como reflexión final de este trabajo, cabe decir que al abordar una caracterización geotécnica en detalle de esta unidad la metodología aquí seguida es totalmente reproducible; aunque no sería una tarea sencilla. En este trabajo se ha puesto de manifiesto, con la ‘pequeña’ selección de diez afloramientos, que hay una cierta variabilidad de calidades de macizo, que hay que proyectar muy bien la toma de muestras porque –entre otras cosas– seguramente haya más términos dolomíticos de los que se presuponen, y que incluso dentro de una misma litología parámetros geotécnicos como la resistencia mecánica varían notablemente. Todas estas dificultades se pueden afrontar mejor si, como aquí se ha hecho, el enfoque del trabajo cubre escalas de roca matriz y afloramiento, y se acude a las técnicas correctas de descripción e identificación de materiales para cruzar e integrar conjuntamente la información que proporcionan.

---

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- ARAMBURU, C. Y BASTIDA, F. (EDS.) (1995): *Geología de Asturias*. Ed. Trea, 308 pp., Gijón.
- BARTON, N., LIEN, R., LUNDE, J. (1974). *Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support*. Rock Mech 6(4):189–236.
- BARTON, N. (1995): *The influence of joint properties in modelling jointed rock masses*. Keynote Lecture, 8th RM Congress (Tokyo), Balkema, Rotterdam.
- BARTON, N. (2002): *Some new Q-value correlations to assist in site characterization and tunnel design*. Int. Journal of Rock Mech & Min Sci, 39 (2): 185-216.
- BIENIAWSKI, Z.T. (1973). *Engineering classification of jointed rock masses*. Trans S Afr Inst Civ Eng 15:335–344.
- BIENIAWSKI, Z.T. (1989): *Engineering Rock Mass Classifications*. Wiley&Sons, New York.
- ELIZAGA MUÑOZ, E. Y FRESNO LÓPEZ, F. (1987): *Mapa geotécnico y de riesgos geológicos de la ciudad de Gijón*. Instituto Geológico y Minero de España, 101 pp., Madrid.
- FLOR, G. Y LHARTI, S. (2008): *Estratigrafía y sedimentología del recubrimiento costero de la ciudad de Gijón*. Trabajos de Geología, 30: 12-17, Oviedo.
- GALERA, J.M., ÁLVAREZ, M., BIENIAWSKI, Z.T. (2005): *Evaluación del módulo de deformación en macizos rocosos. Comparación entre los ensayos presiométricos y dilatométricos con la predicción del RMR*. Ingeopres, 142: 20-28.
- GARCÍA-RAMOS, J.C., LIRES, J. Y PIÑUELA, L. (2002). *Rutas por el Jurásico de Asturias*. La Voz de Asturias, Lugones, 204 pp.
- GONZÁLEZ QUIRÓS, ANDRÉS (2011): *Modelización hidrogeológica de los acuíferos carbonatados de la masa de agua 012.005 en el entorno de la ciudad de Gijón*. Proyecto Fin de Máster (inédito), Universidad de Oviedo.
- GRIMSTAD, E., BARTON, N. (1993): *Updating the Q-System for NMT*. Proc. int. symp. on sprayed concrete modern use of wet mix sprayed concrete for underground support. Fagernes, pp. 46-66, Oslo.
- GUTIÉRREZ CLAVEROL, M., TORRES ALONSO, M. Y LUQUE CABAL, C. (2002): *El subsuelo de Gijón: Aspectos Geológicos*. CQ Licer, S.L. Librería Cervantes, 462 pp., Oviedo.
- GUTIÉRREZ CLAVEROL, M., PANDO, L. Y GARCÍA-RAMOS, J.C. (2008): *Procesos y productos de alteración de formaciones rocosas en Asturias y su repercusión socio-económica*. Boletín Geológico y Minero, 119 (2): 211-230.
- GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, B., MENÉNDEZ CASARES, E., GUTIÉRREZ CLAVEROL, M. Y GARCÍA-RAMOS, J.C. (2004): *Subunidades litoestratigráficas de la Formación Gijón (Triásico Superior-*



---

*Jurásico Inferior) en Asturias. Actas VI Congreso Geológico de España, Zaragoza, Geo-Temas, 6 (2): 71-74.*

HOEK, E. (1994). *Strength of rock and rock masses*. ISRM News Journal, 2(2), 4-16.

HOEK, E., KAISER, P.K., BAWDEN, W.F. (1995): *Support of underground excavations in hard rock*. Balkema, Rotterdam.

HOEK, E., CARRANZA-TORRES, C., CORKUM, B. (2002): *Hoek-Brown failure criterion – 2002 Edition*. In: Proceedings of NARMS-TAC 2002, Mining Innovation and Technology (R. Hammah, W. Bawden, J. Curran & M. Telesnicki, Eds.), Toronto, 10 July 2002, University of Toronto, pp. 267-273.

HOEK, E., DIEREDICHS, M.S. (2006): *Empirical estimation of rock mass modulus*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 43, 203-215.

ISRM (1981): *Rock characterization, testing and monitoring. ISRM suggested methods*. Ed. E.T. Brown, Pergamon Press, 211 pp., London. Marinos y Hoek, 2000-

LHARTI, S. (2002): *Estratigrafía y Sedimentología del Recubrimiento Costero de la Ciudad de Gijón*. Trabajo de Investigación (inédito). Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, 39 pp.

LHARTI, S., FLOR, G., TORRES ALONSO, M., GUTIÉRREZ CLAVEROL, M. Y FLOR BLANCO, G. (2003): *Relleno costero holoceno del subsuelo de Gijón (Asturias)*. Actas 4º Simposio sobre el Margen Continental Ibérico Atlántico, Vigo, Thalassas, 19 (2b): 204-205.

LÓPEZ-FERNÁNDEZ, C., PANDO, L., GUTIÉRREZ CLAVEROL, M. Y TORRES ALONSO, M. (2006): *Propiedades geotécnicas de las arcillas de descalcificación de Gijón y áreas limítrofes (Asturias)*. Ingeniería Civil, 141: 49-61, Madrid.

LÓPEZ-FERNÁNDEZ, C., PANDO, L., GUTIÉRREZ CLAVEROL, M. Y TORRES ALONSO, M. (2008): *Cimentaciones superficiales en arcillas de descalcificación: el caso de la ciudad de Gijón (Asturias, España)*. Geo-Temas, 10 (ISSN: 1567-5172).

LÓPEZ-GAYARRE, F. GONZÁLEZ-NICIEZA, C. ÁLVAREZ-FERNÁNDEZ, M.I. & ÁLVAREZ-VIGIL, A.E. (2010): *Forensic analysis of a pile foundation failure (Gijón)*. Engineering Failure Analysis, 17: 486-497.

MARQUÍNEZ, J. Y FARIAS, P. (1993). *Síntesis de Información sobre el Territorio: La Geología. En: Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de Asturias*. Servicio de Publicaciones del Principado de Asturias, pp. 20-27.

MARTÍNEZ ÁLVAREZ, J.A. Y TORRES ALONSO, M. (1967): *Nota sobre las formaciones arcillosas cuaternarias de los alrededores de Gijón*. Acta Geológica Hispánica, 3 (4): 111-112.

MARTINEZ LARGO, J.A. (2014): *Desarrollo de una base de datos Geológico-Geotécnica en la ciudad de Gijón y su implementación en SIG*. Trabajo Fin de Master (inédito), Universidad De Oviedo, 80 pp.

---

---

MENÉNDEZ CASARES, E, GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, B., GUTIÉRREZ CLAVEROL, M. Y GARCÍA RAMOS, J.C. (2004): *Presiones sobre los acuíferos de la cuenca jurásica asturiana (NO de España)*. Trabajos de Geología, Univ. De Oviedo, 24: 119-126.

MILLER, R.P. (1965): *Engineering classification and index properties for intact rock*. PhD thesis, University of Illinois.

MINISTERIO DE FOMENTO (2009): *Guía de cimentaciones en obras de carretera*. 304 pp.

PALMSTRÖM, A., SINGH, R. (2001): *The deformation modulus of rock masses – comparisons between in situ tests and indirect estimates*. Tunnelling and Underground Space Technology, 16 (3): 115-131.

PALMSTRÖM, A. (2005): *Measurements of and Correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD)*. Tunnels and Underground Space Technology, 20: 362-377.

PANDO, L., FLOR-BLANCO, G., FLOR, G. Y LÓPEZ-FERNÁNDEZ, C. (2012): *Propiedades geotécnicas del recubrimiento cuaternario costero en el área urbana de Gijón (NO de España)*. Actas 7º Simposio sobre el Margen Ibérico Atlántico, Lisboa, pp. 205-210.

PETTIFER, G.S., FOOKES, P.G. (1994): *A Revision of the graphical method for assessing the excavatability of rock*. Quarterly Journal of Engineering Geology, 27: 145-164.

SACHPAZIS, C. (1990): *Correlating Schmidt hardness with compressive strength and Young's Modulus of carbonate rocks*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 42 (1): 75-83.

TORRES ALONSO, M. (1971): *Estudio geotécnico general de la zona central de Asturias*. Tesis Doctoral (inédita), Universidad de Oviedo.

TORRES ALONSO, M., GUTIÉRREZ CLAVEROL, M. Y RODRÍGUEZ BOUZO, L. (1998). *Problemática geológica y geotécnica de una urbe marítima singular: la ciudad de Gijón (NO de España)*. Actas X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica, Buenos Aires, 1, pp. 359-364.

TORRES ALONSO, M., GUTIÉRREZ CLAVEROL, M., FLOR, G., JIMÉNEZ-SÁNCHEZ, M. Y RODRÍGUEZ TERENCE, L.M. (2003): *Los depósitos del Cuaternario reciente de Gijón (Asturias)*. Actas XI Reunión Nacional de Cuaternario, Oviedo, pp. 39-44.

VALENZUELA, M., GARCÍA-RAMOS, J.C. & SUÁREZ DE CENTI, C. (1986): *The jurassic sedimentation in Asturias (N Spain)*. Trabajos de Geología, Universidad de Oviedo, 16: 121-132, Oviedo.

---

## Apéndice

### *Siglas y acrónimos*

EG	Estación geomecánica
GIS	Geographic Information System (Sistema de Información Geográfica)
GSI	Geological Strength Index
IAEG	International Association for Engineering Geology
IAG	Asociación Internacional de Geodesia
IGME	Instituto Geológico y Minero de España
IGN	Instituto Geográfico Nacional
INE	Instituto Nacional de Estadística
ISRM	International Society for Rock Mechanics (Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas)
PGOU	Plan General de Ordenación Urbana
SIG	Sistema de Información Geográfica
RMR	Rock Mass Rating
TI	Tecnologías de la Información
UNE	Una Norma Española (normas tecnológicas)
UTM	Universal Transverse Mercator (Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator)

### *Notaciones y simbología*

$\rho_d$	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
$\gamma_d$	Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )
$\sigma_{ci}$	Resistencia a compresión uniaxial (MPa)
$E_m$	Módulo de deformabilidad del macizo rocoso (MPa)
$E_i$	Módulo de elasticidad del macizo rocoso (MPa)
$I_s$	Índice de carga puntual (MPa)

---

$I_s(50)$	Índice de carga puntual corregido (MPa)
$k$	Coeficiente de permeabilidad
M	Mediana
N	Número de muestras
S	Desviación estándar
X	Media aritmética