

## Guía para la elaboración de los anejos de Geología y Geotecnia de los TFG del Grado en Ingeniería Civil

Alejandro Lomoschitz, Juan R. Jiménez, Miguel A. Franesqui  
Escuela de Ingenierías Industriales y Civiles, Campus de Tafira 35017,  
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España.

**Resumen:** Los Trabajos Fin de Título (TFT) de ingeniería civil pueden ser TFG (Trabajo Fin de Grado) para el Grado en Ingeniería Civil o bien TFM (Trabajo Fin de Máster) para el Máster en Ingeniería de Caminos. En su modalidad de “trabajos de carácter profesional directamente relacionados con los estudios cursados”, deben incluir anejos específicos de Geología y Geotecnia, pues generalmente en los proyectos de ingeniería civil está muy presente el terreno. Sin embargo, la elaboración de estos anejos resulta en ocasiones compleja para los estudiantes: 1º) por el tiempo transcurrido entre los primeros cursos, cuando se imparten estas materias, y el final de los estudios; 2º) por las dificultades propias de los estudios del terreno, que deben adaptarse a cada zona geográfica y a las necesidades de cada proyecto; y 3º) por la necesidad de equipos especiales para el reconocimiento del terreno, que exceden las posibilidades económicas de los estudiantes. A modo de directrices orientadoras, para tutores y estudiantes, se proponen cuatro tareas básicas para elaborar y redactar estos anejos. Además, se propone un índice-guía que consta de nueve apartados. Con dicha propuesta, se pretende implementar la enseñanza universitaria con las buenas prácticas profesionales de la Geología aplicada y la Geotecnia.

### 1. INTRODUCCION

Las escuelas de ingenieros de España tienen una larga experiencia en trabajos fin de estudios, los tradicionales Proyectos Fin de Carrera (PFC). Con la adaptación de los estudios universitarios al EEES (Espacio Europeo de Educación Superior), las enseñanzas universitarias oficiales en España han sido reguladas mediante el Real Decreto 1393/2007 [1] y el Real Decreto 861/2010 [2], que ha establecido que todas las enseñanzas concluirán con la elaboración y defensa de un Trabajo Fin de Título (TFT) que ha de formar parte del plan de estudios y deberá estar orientado a la evaluación de las competencias asociadas al título.

### 2. DIFICULTAD DE LOS ESTUDIOS DEL TERRENO

La elaboración de los anejos de Geología y Geotecnia presenta una dificultad añadida, respecto a otros apartados de los TFG en Ingeniería Civil. La dificultad depende de los siguientes requisitos: a) obtener información del terreno, para lo cual es necesario recopilar una información previa y realizar trabajos de campo; b) tener unos buenos conocimientos de los conceptos, métodos y técnicas propios de la Geología aplicada y la Geotecnia; y c) adquirir cierta soltura para combinar la información cartográfica, los datos de campo y los resultados de laboratorio, de forma que permitan obtener las condiciones geotécnicas del terreno respecto a una construcción o proyecto propuesto.

En la práctica profesional, los reconocimientos del terreno se realizan en fases de precisión creciente y el grado de detalle que se requiere depende del objetivo que se pretende [3]. Dadas las limitaciones de tiempo y de medios de un TFG en Ingeniería Civil, la fase que podría alcanzarse equivaldría a un

## Guía N°1. Anejos de Geología y Geotecnia

Estudio previo o, tal vez, o un Estudio informativo de un proyecto real. No obstante, algunos apartados pueden llegar a profundizar o desarrollarse más.

### 3. TAREAS BÁSICAS PARA ELABORAR LOS ANEJOS DE GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

Para la redacción de los anejos de Geología y Geotecnia (y los apartados de la Memoria descriptiva) se proponen cuatro tareas básicas:

- (1) Recopilación y estudio de información previa.
- (2) Trabajos de campo.
- (3) Obtención de parámetros geotécnicos.
- (4) Definición del índice del anejo de Geología y Geotecnia, contenidos necesarios.

#### 3.1 Recopilación y estudio de información previa

En esencia consiste en la búsqueda y consulta de documentación cartográfica y escrita que pudiera resultar de utilidad para el proyecto. Al comienzo de los trabajos conviene ordenar la información disponible y plantear correctamente las demás tareas, en función del tema del proyecto. Según el tipo de información, puede obtenerse de las siguientes fuentes:

- Cartografía topográfica: IGN (Instituto Geográfico Nacional): [[www.ign.es](http://www.ign.es)]; Google Maps y para Canarias en concreto: GRAFCAN: [ <http://visor.grafcan.es/visorweb/>].
- Ortofotos disponibles: GRAFCAN: [ <http://visor.grafcan.es/visorweb/>]; IGN.
- Modelos digitales del terreno (MDT) con visualizador: Google Earth; GRAFCAN.
- Mapas Geológicos (hojas y memorias): E. 1:25.000 ó 1:50.000 del IGME (Instituto Geológico y Minero de España): [[www.igme.es](http://www.igme.es)].
- Mapa Geotécnico de Canarias E. 1:25.000 [Gobierno de Canarias, GRAFCAN: [ <http://visor.grafcan.es/visorweb/>].
- Mapas, ortofotos y fotos antiguas, en su caso: Para Canarias, GRAFCAN: [ <http://visor.grafcan.es/visorweb/>], Memoria Digital de Canarias-ULPGC [<http://mdc.ulpgc.es/>].
- Información hidrológica (red y cuencas hidrográficas, caudales) e hidrogeológica (parámetros de las unidades hidrogeológicas, niveles freáticos) [Cabildos insulares, Consejos insulares de aguas: [<http://www.aguasgrancanaria.com/>], [<http://aguastenerife.org/>].
- Localización de yacimientos y canteras de interés: Ministerio de Industria y Energía.
- Información geológica y geotécnica de proyectos y obras próximas: Oficinas técnicas de organismos públicos y consulta a empresas y a particulares.

#### 3.2 Trabajos de campo

Tienen como objetivo hacer un reconocimiento visual de la zona del proyecto, contrastar la información previa y hacer una descripción de los materiales geológicos que atraviesa la traza o que están presentes en el emplazamiento de la obra. Básicamente, hay que realizar tres tipos de tareas:

- 1) **Recorrido a pie por la traza.** Consiste en seguir un itinerario de campo por donde discurrirá la traza del proyecto o bien donde se emplazará el proyecto.

Conviene hacerlo al menos en dos fases. En una primera fase se realiza un recorrido rápido “de situación”, buscando elementos de referencia en el terreno e identificándolos en un mapa, cuyo objetivo es ubicar el proyecto en el terreno, dentro de unos límites aproximados. Una segunda fase, más detenida, se destina a reconocer los elementos del territorio que intervendrán en el proyecto, ya sean construcciones, conducciones, servicios y zonas urbanas, así como elementos naturales (montes, barrancos, vegetación, etc.) que configuran el paisaje.

2) **Identificación de rocas y suelos.** Habitualmente consiste en un reconocimiento de la superficie del terreno, que se concentra en aquellos puntos o zonas de afloramiento donde el subsuelo queda expuesto. Como punto de partida, los mapas geológicos del IGME (Instituto Geológico y Minero de España) dan información valiosa de los materiales geológicos principales de cada zona.

Sin embargo, hay un problema inevitable que proviene de la escala (1:25.000 ó 1:50.000) y que impide representar todos los materiales en un mapa geológico. Por ejemplo, un tramo de carretera de 500 m queda representado en tan sólo 2 cm de mapa a una escala 1:25.000. La experiencia dice que en 500 m los suelos y rocas suelen variar notablemente, en su tipo y estado, lo que repercute en su diferente comportamiento geotécnico. Por lo tanto: por un lado, es lógico que no haya una equivalencia exacta entre el mapa geológico y el terreno y, por otro lado, la información que aporta el mapa geológico debe ser contrastada en el campo, adaptada a la escala de los planos de proyecto.

En la práctica profesional, las escalas más usuales en Estudios Previos e Informativos son 1:10.000 y 1:5.000. Y se emplean escalas mayores (1:2.000 y 1:1.000) en fases del proyecto más avanzadas (Proyecto de trazado o Proyecto de construcción). Además, la realización de mapas geológicos para proyectos es tarea propia de geólogos y requiere gran experiencia. Dichas tareas quedan fuera de las posibilidades de un TFG.

Se propone un método de trabajo asequible al nivel de un TFG, con dos tareas: 1<sup>a</sup>) Editar una porción del mapa geológico general, seleccionando la zona de terreno del proyecto con amplios márgenes, y adjuntar la escala gráfica, coordenadas y la leyenda geológica. 2<sup>a</sup>) Hacer un reconocimiento específico de las rocas y suelos presentes en la zona.

En lo referente a las rocas, a medida que se vayan encontrando zonas expuestas (afloramientos) se irán describiendo los diferentes tipos de rocas y se les debe asignar un nombre (<sup>1</sup>). En cuanto a los suelos, son generalmente formaciones geológicas superficiales y deben distinguirse los suelos naturales (residuales o sedimentarios) (<sup>2</sup>) y los suelos artificiales o rellenos (<sup>3</sup>).

---

<sup>1</sup> Los diferentes tipos de rocas pueden consultarse en manuales de Geología (Pozo Rodríguez, González Yelamos y Giner Robles, 2003: 47-82; López Marinas y Lomoschitz, 2013: 177-337). De forma sucinta, el CTE DB SE-Cimientos (Ministerio de Fomento, 2006:114) incluye una clasificación de rocas en la Tabla D.4 y la Guía GETCAN-011 (Gobierno de Canarias, 2011:83-85) muestra una clasificación de los materiales volcánicos, en su apéndice 1.

<sup>2</sup> Los suelos residuales provienen de la alteración de las rocas y constituyen la cobertera de tierra vegetal. Los suelos sedimentarios son de origen diverso y forman depósitos aluviales (de ríos, arroyos o barrancos), costeros (de playas y acantilados), lacustres (de lagos), eólicos (de dunas) y glaciares (morrenas).

<sup>3</sup> Los suelos artificiales (antrópicos) pueden ser: rellenos controlados (terraplenes, pedraplenes, escolleras, etc.) o rellenos no controlados (escombreras, vertidos de canteras o industriales, basureros, etc.). Conviene diferenciar unos de otros, pues los rellenos no controlados tienen un comportamiento geotécnico peligroso.

## Guía N°1. Anejos de Geología y Geotecnia

- 3) **Identificación de zonas peligrosas.** Si las hubiera, a lo largo de la traza o zona de proyecto deben identificarse aquellas zonas potencialmente peligrosas y describirlas brevemente.

A lo largo de la traza o zona de proyecto puede haber y, en la medida de lo posible, deben identificarse:

- a) Zonas de taludes inestables, que están afectados por desprendimientos o deslizamientos de importancia.
- b) Zonas afectadas por erosión superficial intensa de escorrentía (concentrada o difusa), con arrastre y acumulación de sedimentos.
- c) Zonas con manantiales, surgencias de agua o nivel freático poco profundo.
- d) Zonas proclives al estancamiento de aguas y zonas inundables en caso de lluvias intensas.
- e) Tramos de carretera con grietas o hundimientos importantes del firme actual.
- f) Obras de drenaje o estructuras con fallos visibles en la cimentación.
- g) Otras zonas problemáticas de interés.

Cada zona potencialmente peligrosa debe: 1) situarse en un mapa; 2) ser descrita de forma sucinta; 3) fotografiarse; y 4) hacer una evaluación preliminar de la peligrosidad. A medida que se redacte el proyecto, pueden definirse soluciones constructivas para disminuir su posible efecto perjudicial sobre la obra.

### 4) Conclusiones de los trabajos de campo.

Como resultado de los trabajos de campo, deben redactarse al menos:

- Una lista de las rocas presentes en la zona, con una breve descripción de cada tipo.
- Una lista de los suelos presentes en la zona, con una breve descripción de cada tipo.
- Una relación de los principales taludes con inestabilidades (preferiblemente una ficha con la información de cada talud).
- Una relación de otras zonas problemáticas, si las hubiera.

### 3.3 Obtención de parámetros geotécnicos

Los parámetros geotécnicos (Tabla 1) son necesarios principalmente para el cálculo de cimentaciones de las estructuras de un proyecto. Las estructuras más comunes son: edificaciones, obras de paso, estructuras de contención, obras de drenaje, conducciones hidráulicas, depósitos y silos.

En un segundo grupo, están otras obras de mayor complejidad: grandes puentes y viaductos, túneles y cavernas, embalses y presas, y las propias de obras portuarias. Además, la geotecnia vial (de carreteras y ferrocarriles) utiliza parámetros del terreno de cimiento, de los taludes excavados y de los rellenos estructurales (terraplenes, pedraplenes y escolleras).

**Tabla 1.** Parámetros geotécnicos básicos de suelos y rocas empleados para el cálculo de cimentaciones de estructuras y para Geotecnia vial.

Ámbito de aplicación	Suelos	Rocas
Cimientos de estructuras	Pesos específicos Cohesión Angulo de rozamiento interno Módulos de deformación Coeficiente de Poisson	Pesos específicos Resistencia a compresión simple Fracturación (RQD, RMR) Módulo de Young
Geotecnia vial	Pesos específicos Cohesión Angulo de rozamiento interno Módulos de carga con placa CBR Pesos específicos y humedades óptimos de compactación	Pesos específicos Resistencia a compresión simple Fracturación (RQD, RMR) Módulo de Young

Salvo excepciones, para un TFG es difícil realizar todos los ensayos geotécnicos que serían necesarios para obtener estos parámetros geotécnicos. Por ello, se suelen emplear parámetros orientativos provenientes de guías o manuales técnicos y que permiten hacer cálculos estimativos.

Por ejemplo, pueden consultarse:

- Guía de cimentaciones en obras de carretera (Ministerio de Fomento, 2003: 36-37), tablas 3.1 y 3.2.
- Código Técnico de la Edificación DB-SE-C Cimientos (Ministerio de Fomento, 2006: 120-123), tablas D.23, D.24, D.26, D.27 y D.29.
- Guía GETCAN-011 (Gobierno de Canarias, 2011:86-95), apéndice 2: parámetros geotécnicos de los litotipos canarios.

Sin embargo, el estudiante debe ser consciente de que un proyecto real, en su fase de Proyecto de Ejecución, para el cálculo de las estructuras de cimentación debe contar con parámetros geotécnicos obtenidos específicamente, a partir de un número adecuado de prospecciones y ensayos de laboratorio.

### 3.4 Definición del Índice del anejo de Geología y Geotecnia, contenidos necesarios.

Para el alcance de un TFG se puede agrupar toda la información en un solo anejo de Geología y Geotecnia. Aquí se propone un índice general, de carácter orientativo. Se enumeran a continuación una serie de apartados que formarían dicho índice junto con los contenidos necesarios.

1. **Introducción.** Consistirá en una breve descripción del proyecto y los objetivos del anejo.
2. **Información previa.** Consistirá en una descripción de los antecedentes e información preexistente.
3. **Contexto geológico general.** La referencia al marco geológico siempre debe aparecer, aunque su extensión puede ser variable.
4. **Aprovechamiento de materiales y canteras.** En todo proyecto de ingeniería civil debe hacerse una previsión de los materiales pétreos que estarán disponibles, provenientes de las excavaciones, o bien de las canteras próximas.

## Guía N°1. Anejos de Geología y Geotecnia

5. **Condiciones geomorfológicas e hidrológicas.** Deben describirse los elementos principales del relieve que aparecen en el trazado o zona del proyecto y la red hidrográfica que afecta al mismo.
6. **Condiciones geológico-geotécnicas e hidrogeológicas.** A partir de los trabajos de campo, descritos con anterioridad, debe obtenerse una idea lo más clara posible de: a) los tipos de suelos y rocas que aparecerán en la traza o zona del proyecto; b) los puntos o zonas problemáticas de tipo geotécnico; c) las zonas con manantiales de agua o niveles freáticos poco profundos, si las hubiera.
7. **Descripción geotécnica del terreno.** Una vez dividido el terreno en unidades litológicas (tipos de rocas y suelos) o estratigráficas (estratos o capas del subsuelo) se debe añadir una descripción geotécnica de cada tipo de terreno.
8. **Cálculos geotécnicos para las cimentaciones.** Se realizarán según las necesidades de cada proyecto. Abarcan dos aspectos: a) la resistencia a rotura del terreno, expresada por la presión de hundimiento ( $qh$ ), y b) la deformabilidad del terreno, expresada por los asentos ( $S$ ).
9. **Propuesta de estudio geotécnico para construcción.** Como, por lo general, para elaborar un TFG no se dispone de medios materiales ni presupuesto para realizar un estudio geotécnico específico, una alternativa razonable consiste en redactar una propuesta de estudio geotécnico, que sería necesario realizar antes de ejecutar la obra. Esta propuesta es opcional para un TFG, pero, en ocasiones, resulta muy conveniente; por ejemplo, cuando existen estructuras en el proyecto.

Dicha propuesta, en caso de realizarse, debe incluir un plan de campaña de reconocimientos, indicando situación (en un mapa), profundidades a alcanzar en cada punto y técnicas necesarias (sondeos mecánicos, calicatas, geofísica). También puede incluir un programa de muestreo y de ensayos de laboratorio y un presupuesto, al menos orientativo, mediante PA (partidas alzadas). El objeto del estudio geotécnico es determinar la estratigrafía del terreno (mediante perfiles geotécnicos) y los parámetros geotécnicos necesarios (mediante ensayos in situ y de laboratorio), principalmente en las zonas de apoyo de las estructuras.

Esta propuesta puede constituir un capítulo más del anejo de Geología y Geotecnia. Para su elaboración resulta útil el capítulo 3 de la Guía de cimentaciones en obras de carretera (Ministerio de Fomento, 2003: 41-51, 59-68). En el caso de edificaciones, debe emplearse el capítulo 3 del CTE DB-SE-C Cimientos (Ministerio de Fomento, 2006:11-18) y el Anejo C Técnicas de prospección (pp. 109-111). Al final puede añadirse un presupuesto, con la designación de los trabajos, las unidades, los precios unitarios y totales. En los presupuestos de estudios geotécnicos es común considerar los capítulos: I. Trabajos de campo; II. Ensayos de laboratorio; III. Preparación de accesos y plataformas de trabajo y IV. Otros servicios.

El índice del Anejo de Geología y Geotecnia debe adaptarse a las necesidades de cada proyecto. Por ello, no es necesario incluir los 9 apartados siempre, ni con la misma extensión. Siempre en función del tipo de TFG, y de su encaje en el terreno, se podrán desarrollar los apartados en mayor o menor profundidad. Además deben añadirse planos, figuras y un reportaje fotográfico, con el fin de documentar gráficamente la información escrita. La tendencia actual es insertar algunas figuras y fotos entre los párrafos de texto y dejar los planos y el anejo fotográfico al final.

#### 4. CONCLUSIONES

En este documento, se proponen cuatro tareas básicas para elaborar y redactar los anejos de Geología y Geotecnia de los TFG de las titulaciones de Ingeniería Civil: (1) Recopilación y estudio de información previa; (2) trabajos de campo; (3) obtención de parámetros geotécnicos y (4) definición del índice del anejo de Geología y Geotecnia. Y a partir de la experiencia (docente y profesional) se ha propuesto un índice-guía con nueve capítulos para su elaboración.

Además, se pretende hacer partícipes a alumnos y profesores de las titulaciones de Ingeniería Civil de estas ideas, de manera que con sucesivas aportaciones y mejoras, puedan favorecer la enseñanza.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Ministerio de Fomento, [Guía de cimentaciones en obras de carretera], Cap. 3 Reconocimiento del terreno, Dirección General de Carreteras, Madrid, 31-71 (2003).
- [2] Ministerio de Educación, Real Decreto 861/2010, de 2 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales, 58454-58468 (2010).
- [3] Lomoschitz A., Jiménez J.R. y Franesqui M.A., “Ideas sobre una guía metodológica básica para la redacción de los anejos de Geología y Geotecnia de los TFG de las titulaciones de ingeniería civil”, CUIEET 2014, XXII Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas, Almadén, 15 pp. (2014).