

## Guía docente

### 250421 - GEOMTRENC - Geomecánica de Roturas

Última modificación: 10/06/2025

**Unidad responsable:** Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona  
**Unidad que imparte:** 751 - DECA - Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.

**Titulación:** MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DEL TERRENO E INGENIERÍA SÍSMICA (Plan 2009). (Asignatura optativa).  
MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS (Plan 2012). (Asignatura optativa).  
MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y DE MINAS (Plan 2013). (Asignatura obligatoria).  
MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DEL TERRENO (Plan 2015). (Asignatura optativa).  
MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA GEOTÉCNICA (Plan 2025). (Asignatura obligatoria).

**Curso:** 2025      **Créditos ECTS:** 5.0      **Idiomas:** Castellano

#### PROFESORADO

**Profesorado responsable:** NURIA MERCE PINYOL PUIGMARTI

**Otros:** NURIA MERCE PINYOL PUIGMARTI

#### COMPETENCIAS DE LA TITULACIÓN A LAS QUE CONTRIBUYE LA ASIGNATURA

##### Específicas:

8200. Aplicación de los conocimientos de la mecánica de suelos y de las rocas para el desarrollo del estudio, proyecto, construcción y explotación de cimentaciones, desmontes, terraplenes, túneles y demás construcciones realizadas sobre o a través del terreno, cualquiera que sea la naturaleza y el estado de éste, y cualquiera que sea la finalidad de la obra de que se trate.

##### Transversales:

8559. EMPRENDIMIENTO E INNOVACIÓN: Conocer y entender los mecanismos en que se basa la investigación científica así como los mecanismos e instrumentos de transferencia de resultados entre los diferentes agentes socioeconómicos implicados en los procesos de I+D+i.

8560. SOSTENIBILIDAD Y COMPROMISO SOCIAL: Conocer y comprender la complejidad de los fenómenos económicos y sociales típicos de la sociedad del bienestar; tener capacidad para relacionar el bienestar con la globalización y la sostenibilidad; lograr habilidades para utilizar de forma equilibrada y compatible la técnica, la tecnología, la economía y la sostenibilidad.

8561. TRABAJO EN EQUIPO: Ser capaz de trabajar como miembro de un equipo interdisciplinar, ya sea como un miembro más o realizando tareas de dirección, con la finalidad de contribuir a desarrollar proyectos con pragmatismo y sentido de la responsabilidad, asumiendo compromisos teniendo en cuenta los recursos disponibles.

## METODOLOGÍAS DOCENTES

---

La asignatura consta de 3 horas semanales de clases presenciales en el aula en que se expondrá toda la información disponible de casos reales y se analizará siguiendo los siguientes puntos:

- Descripción del caso
- Teoría utilizada
- Análisis del caso
- Medidas correctoras
- Lecciones aprendidas

Cada caso se resolverá paso a paso y al detalle para que el alumno pueda seguir y entender las hipótesis aceptadas, la teoría preestablecida aplicada y los desarrollos teóricos y de cálculo llevados a cabo para entender lo que pasó en cada caso.

Se realizarán clases de problemas en las que el alumno deberá resolver problemas parecidos a los discutidos en clase.

Aunque la mayoría de las sesiones se impartirán en el idioma indicado en la guía, puede que las sesiones en las que se cuente con el apoyo de otros expertos invitados puntualmente se lleven a cabo en otro idioma.

## OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

---

Asignatura de especialidad en la que se intensifican conocimientos en competencias específicas.

Conocimientos a nivel de especialización que han de permitir desarrollar y aplicar técnicas y metodologías de nivel avanzado.

Contenidos de especialización de nivel de máster relacionados con la búsqueda o la innovación en el campo de la ingeniería.

En el campo de la geotecnia, como en otros ámbitos de la ciencia y la ingeniería, los errores cometidos, especialmente cuando han sido catastróficos, ofrecen una experiencia valiosa que a menudo es fuente de inspiración para profundizar en el conocimiento y en las herramientas disponibles de análisis y predicción. Las roturas han sido claves en el desarrollo de las teorías y permiten entender y determinar los aspectos fundamentales y el papel que estos juegan en la estabilidad de las obras y del entorno natural. La idea principal de esta asignatura es la aplicación de los conceptos básicos y fundamentales de la mecánica del suelo y de rocas, así como otros ámbitos de aplicación en ingeniería civil (mecánica del continuo y de fluidos, estructuras y métodos numéricos) en el estudio de catástrofes pasadas. El término "catástrofe" se utiliza en un sentido ingenieril indicando que no se han alcanzado los objetivos establecidos, de manera que no sólo incluye roturas con graves consecuencias (como es el caso del deslizamiento de Vaiont que provocó la muerte de más de 2000 personas) sino que también se han tenido en cuenta estructuras que por diferentes causas no cumplen adecuadamente las funciones para las que estaban diseñadas (como es el caso de la Torre de Pisa, cuya inclinación no estaba prevista en el proyecto).

En las clases se describirán cada uno de los casos reales, de mayor o menor complejidad, a partir de un análisis relativamente sencillo, pero respetuoso con los aspectos fundamentales. Este primer paso en sí mismo ya es un gran ejercicio de geotecnia, de hecho uno de los más importantes y clave a la hora de entender un caso real pues requiere definir un modelo conceptual basado en teorías aceptadas que no excluyan ningún aspecto fundamental. A partir de aquí, se intenta aplicar principios básicos para desarrollar una teoría que explique la rotura. Se demostrará de esta manera como, con los conocimientos en mecánica de suelos y de rocas adquiridos durante la carrera académica anterior del estudiante, se pueden explicar las causas de las catástrofes. Este conocimiento tiene el objetivo de permitir entender o evitar posibles futuras catástrofes geotécnicas. Se evita el uso de métodos o programas numéricos "llave en mano", tipo elementos finitos, porque el objetivo es que el estudiante pueda ser capaz de seguir paso a paso todo el análisis y entender los conceptos y herramientas utilizadas.

Más concretamente, esta asignatura permitirá al estudiante:

- Conocer al detalle y desde la visión de experto en el campo de la geotecnia catástrofes célebres que han sido clave en el progreso de la geotecnia.
- Conocer al detalle las causas que provocaron las roturas
- Repasar y extender los conceptos de la mecánica del suelo y de rocas, cálculo, métodos numéricos, estructuras y medios continuos adquiridos en la carrera y aplicarlos a casos reales.
- Aprender a aislar los aspectos fundamentales de la complejidad típicamente asociada a los casos reales y poder enfocar así su análisis.
- Potenciar la capacidad de aplicar los conocimientos adquiridos en diferentes ámbitos y materias de la mejor manera posible para alcanzar el objetivo establecido.
- Interpretar los datos disponibles y justificarlos científicamente apoyándose en las teorías aceptadas en la comunidad científica y aprendidas durante su formación.

## HORAS TOTALES DE DEDICACIÓN DEL ESTUDIANTE

Tipo	Horas	Porcentaje
Horas grupo grande	25,5	20.38
Horas grupo mediano	9,8	7.83
Horas aprendizaje autónomo	80,0	63.95
Horas grupo pequeño	9,8	7.83

**Dedicación total:** 125.1 h

## CONTENIDOS

### Introducción y generalidades

#### Descripción:

Mostrar una perspectiva general de la historia reciente de la geotecnia, sus paradigmas y el papel que las catástrofes han jugado en la evolución del conocimiento y en el avance de la mecánica del suelo y de rocas.

#### Objetivos específicos:

Recordar y aprender los factores que han sido claves en la mecánica del suelo y de rocas y dar a conocer casos reales que han marcado la historia de la geotécnica. Conocerlos es el primer paso para evitar que vuelva a ocurrir.

**Dedicación:** 7h 11m

Grupo grande/Teoría: 3h

Aprendizaje autónomo: 4h 11m

### Asentamientos

#### Descripción:

Descripción y análisis de los asentamientos diferenciales y diferidos en el tiempo observados en la catedral de la Ciudad de México, construida sobre arcilla blanda.

Análisis de los asentamientos diferidos en el tiempo y excesivos observados durante la construcción del aeropuerto internacional de Kansai (Japón).

#### Objetivos específicos:

Conocer el caso de la inclinación de la catedral de México. Comprender el efecto del estado inicial del terreno, de la secuencia de construcción de dos edificios cercanos o superpuestos (los dos a la vez, uno a continuación del otro y uno después de haber construido y derribado el otro) y del comportamiento tensión-deformación logarítmico-lineal de los suelos en los asentamientos de ambas estructuras.

Conocer el caso de los asentamientos diferenciales del aeropuerto internacional de Kansai. Obra de ingeniería designada como uno de los "Monumentos del Milenio" por la American Society of Civil Engineers. Ampliar y aplicar el conocimiento de la teoría de la consolidación y el procedimiento del método observacional para la predicción de asentamientos.

**Dedicación:** 7h 11m

Grupo grande/Teoría: 1h 30m

Grupo mediano/Prácticas: 1h 30m

Aprendizaje autónomo: 4h 11m

### Inestabilidad estructural

**Descripción:**

Descripción del conocido caso de la inclinación de la Torre de Pisa, Italia, y las actuaciones que se han llevado a cabo para evitar su derrumbe. Explicación de las causas de la inclinación de la torre y definición de reglas prácticas para prever el problema de inestabilidad en estructuras.

**Objetivos específicos:**

Conocer al detalle el conocido caso de la inclinación de la Torre de Pisa. Entender una de las posibles causas que ocasionan la inclinación de torres o edificios en general. Ampliar y aplicar los conocimientos de las teorías del comportamiento tensión-deformación de los suelos.

**Dedicación:** 3h 35m

Grupo grande/Teoría: 1h 30m

Aprendizaje autónomo: 2h 05m

### Capacidad portante

**Descripción:**

Descripción del conocido caso de colapso de un elevador de grano construido en Transcona (Canadá) debido al hundimiento de su cimentación.

Descripción del caso de la rotura de los cajones de la nueva bocana del puerto de Barcelona, ocurrida en el año 2001 debido al hundimiento de la cimentación. El caso se analiza analíticamente y se comparan los resultados con los obtenidos numéricamente con un programa comercial.

**Objetivos específicos:**

Conocer el caso de la rotura del elevador de grano construido en Transcona. Entender las causas que llevaron al colapso y la importancia de una buena caracterización geológica y geotécnica de los materiales de la cimentación. Ampliar y aplicar los conocimientos de los teoremas de la cota superior.

Conocer uno de los procedimientos actualmente utilizados en la construcción de diques mediante la colocación de cajones prefabricados. Técnica utilizada en el puerto de Barcelona. Recordar, extender y aplicar los conocimientos de las teorías de capacidad portante, concepto de factor de seguridad, teoremas de equilibrio límite y el fenómeno de licuefacción con soluciones analíticas y empíricas.

**Dedicación:** 18h

Grupo grande/Teoría: 6h

Grupo mediano/Prácticas: 1h 30m

Aprendizaje autónomo: 10h 30m

### Deslizamientos

**Descripción:**

Descripción del conocido caso del desprendimiento de Vaiont, ocurrido en 1963 en el norte de Italia en una de las vertientes del embalse del mismo nombre cuando este se encontraba prácticamente en su máximo nivel.

**Objetivos específicos:**

Aplicar los conocimientos de estabilidad de deslizamientos traslacionales, equilibrio límite y factor de seguridad. Aclarar y extender conocimientos sobre el efecto de sumergir el pie de un posible desprendimiento en cuanto a su estabilidad. Recordar y extender el conocimiento sobre el efecto de la temperatura en un medio poroso saturado y aplicarlo a deslizamientos traslacionales. Enseñar posibles causas de la aceleración de deslizamientos traslacionales que pueden suponer un riesgo elevado con catastróficas consecuencias. Conocer reglas prácticas que permitan estimar el potencial de aceleración de deslizamientos traslacionales. Recordar y aplicar los conocimientos en cálculo numérico y programación para resolver sistemas de ecuaciones diferenciales.

**Dedicación:** 21h 36m

Grupo mediano/Prácticas: 9h

Aprendizaje autónomo: 12h 36m

## Excavaciones

### Descripción:

Descripción y análisis del colapso por la bóveda de un túnel durante su excavación antes de que la totalidad del sostenimiento estuviera construido.

Descripción y análisis del colapso del frente de los túneles de La Floresta durante su excavación y de las soluciones estructurales aplicadas para poder continuar con su construcción.

### Objetivos específicos:

Enseñar causas que pueden llevar a la ruptura de un túnel por la bóveda formando una cavidad debido al colapso del sostenimiento instalado. Enseñar a aplicar soluciones analíticas y plantear los métodos de estado límite (teorema de la cota superior).

Aplicar y extender los conocimientos sobre la estabilidad estructural del frente de los túneles someros excavados en suelos y las posibles soluciones estructurales para poder realizar la excavación de forma segura. Recordar, extender y aplicar los conocimientos en soluciones analíticas y su deducción, medios continuos y estructuras.

### Dedicación: 12h

Grupo grande/Teoría: 2h

Grupo mediano/Prácticas: 3h

Aprendizaje autónomo: 7h

## Terraplenes y presas

### Descripción:

Descripción del colapso de un terraplén compactado debido a las lluvias. Presentación de un modelo constitutivo elastoplástico y su deducción para suelos no saturados. Evaluación y cálculo de la deformación volumétrica observada en el caso real y estimación del potencial de colapso.

### Objetivos específicos:

Entender y extender los conceptos de la mecánica del suelo no saturado y aplicarlos a un caso real de colapso de un terraplén compactado. Recordar propiedades fundamentales de los suelos compactados y saber cuáles son idóneas para evitar posibles problemas de colapso volumétrico por mojado.

### Dedicación: 9h 36m

Grupo grande/Teoría: 4h

Aprendizaje autónomo: 5h 36m

## Evaluación

### Dedicación: 14h 23m

Grupo pequeño/Laboratorio: 6h

Aprendizaje autónomo: 8h 23m

## SISTEMA DE CALIFICACIÓN

---

La asignatura se evaluará a partir de la nota de dos exámenes realizados durante el curso y ejercicios prácticos y / o un treball final.

Se convocarán dos exámenes: uno a mitad de cuatrimestre (E1) y otro al final de cuatrimestre (E2). En ambos exámenes se evaluarán los conocimientos de los estudiantes según el temario impartido hasta el momento del examen.

La nota final será la máxima de la nota del segundo examen y una media ponderada de los dos exámenes (el primer examen tendrá un peso del 40% y el segundo del 60%).

Nota Exámenes =  $\max. (0.4 * \text{NotaE1} + 0.6 * \text{NotaE2} ; \text{NotaE2})$

Los ejercicios prácticos se evaluará independientemente.

La nota final de los exámenes se calculará como la media ponderada entre la nota de los exámenes (peso 80%) y la nota de los ejercicios prácticos (peso 20%).

## NORMAS PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS.

---

Si no se realiza alguna de las actividades de laboratorio o de evaluación continua en el periodo programado, se considerará como puntuación cero.

## BIBLIOGRAFÍA

---

### Básica:

- Puzrin, A.M.; Alonso, E.E.; Pinyol, N.M. Geomechanics of failures [en línea]. Dordrecht: Springer, 2010 [Consulta: 26/02/2021]. Disponible a: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-90-481-3531-8>. ISBN 9789048135301.
- Alonso, E.E.; Pinyol, N.M.; Puzrin, A.M. Geomechanics of failures: advanced topics [en línea]. Dordrecht: Springer, 2010 [Consulta: 26/02/2021]. Disponible a: <http://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-3538-7>. ISBN 9789048135370.
- Ishibashi, I.; Hazarika, H. Soil Mechanics Fundamentals. Boca Raton: CRC Press, 2019. ISBN 9781482250411.
- Ng, Charles W.W.; Simons, N.E.; Menzies, B. A short course in soil-structure engineering of deep foundations, excavations and tunnels. London: Thomas Telford, 2004. ISBN 9780727732637.

### Complementaria:

- Verruijt, A. Soil mechanics [en línea]. Delft: Delf University of Technology, 2012 [Consulta: 26/09/0017]. Disponible a: <https://ocw.tudelft.nl/wp-content/uploads/SoilMechBook.pdf>. ISBN 9065620583.
- Muir Wood, D. Soil behaviour and critical state soil mechanics. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1990. ISBN 0521337828.