

Guía docente de la asignatura

Fecha de aprobación por la Comisión Académica: 12/07/2024

Conocimientos Avanzados de Ingeniería del Terreno (MA9/56/7/5)

Máster

Máster Doble: Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos + Máster Universitario en Técnicas y Ciencias de la Calidad del Agua (Idea)

MÓDULO

Tecnología Específica

RAMA

Ingeniería y Arquitectura

CENTRO RESPONSABLE DEL TÍTULO

Escuela Internacional de Posgrado

Semestre	Segundo	Créditos	6	Tipo	Obligatorio	Tipo de enseñanza	Presencial
-----------------	---------	-----------------	---	-------------	-------------	--------------------------	------------

BREVE DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS (Según memoria de verificación del Máster)

Condiciones estáticas y dinámicas del terreno. Tipos de ondas y cargas en vibraciones, voladuras y terremotos. Comportamiento dinámico de suelos. Resistencia dinámica y gradiente de velocidad de aplicación de tensiones. Modelos de comportamiento dinámico en suelos granulares y cohesivos. Licuefacción de suelos. Estabilidad de taludes y laderas de suelos en condiciones pseudoestáticas y dinámicas. La interacción suelo - estructura, el análisis modal y la integración directa. Criterios sísmicos de proyecto para obras de carreteras, y cimentaciones especiales: puentes, estructuras marítimas, presas y sus estructuras anejas. Empuje de tierras sobre estructuras rígidas y estructuras flexibles. Mecánica del suelo semisaturado.

Reconocimiento geotécnico en túneles y seguimiento de Obra. Introducción al diseño y ejecución de túneles. Estados tensionales alrededor de un túnel. Estabilidad del frente. Acciones sobre el revestimiento. Las deformaciones del terreno en túneles: subsidencia y convergencia. El Sostenimiento y sus elementos. El método de las curvas características. Tratamiento del terreno alrededor de túneles para refuerzo e impermeabilización. Control de ejecución y auscultación de túneles y del terreno.

COMPETENCIAS

COMPETENCIAS BÁSICAS



- CB6 - Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación.
- CB7 - Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio.
- CB8 - Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios.
- CB9 - Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.
- CB10 - Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

COMPETENCIAS GENERALES

- CG01 - Capacitación científico-técnica y metodológica para el reciclaje continuo de conocimientos y el ejercicio de las funciones profesionales de asesoría, análisis, diseño, cálculo, proyecto, planificación, dirección, gestión, construcción, mantenimiento, conservación y explotación en los campos de la ingeniería civil.
- CG06 - Conocimiento para aplicar las capacidades técnicas y gestoras en actividades de I+D+i dentro del ámbito de la ingeniería civil.
- CG07 - Capacidad para planificar, proyectar, inspeccionar y dirigir obras de infraestructuras de transportes terrestres (carreteras, ferrocarriles, puentes, túneles y vías urbanas) o marítimos (obras e instalaciones portuarias).
- CG11 - Capacidad para el proyecto, ejecución e inspección de estructuras (puentes, edificaciones, etc.), de obras de cimentación y de obras subterráneas de uso civil (túneles, aparcamientos), y el diagnóstico sobre su integridad.
- CG12 - Capacidad para planificar, diseñar y gestionar infraestructuras, así como su mantenimiento, conservación y explotación.
- CG18 - Conocimientos adecuados de los aspectos científicos y tecnológicos de métodos matemáticos, analíticos y numéricos de la ingeniería, mecánica de fluidos, mecánica de medios continuos, cálculo de estructuras, ingeniería del terreno, ingeniería marítima, obras y aprovechamientos hidráulicos y obras lineales.

COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

- CE03 - 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.

COMPETENCIAS TRANSVERSALES

- CT01 - Capacidad de análisis y síntesis
- CT02 - Capacidad de organización y planificación
- CT03 - Comunicación oral y/o escrita
- CT04 - Conocimientos de informática relativos al ámbito de estudio



- CT05 - Capacidad de gestión de la información
- CT06 - Resolución de problemas
- CT07 - Trabajo en equipo
- CT08 - Razonamiento crítico
- CT09 - Aprendizaje autónomo

RESULTADOS DE APRENDIZAJE (Objetivos)

- Adquirir conocimientos adecuados de los aspectos científicos y tecnológicos de métodos en Ingeniería del Terreno.
- 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 este y cualquiera que sea la finalidad de la obra de que se trate.
- Conocimiento para aplicar las capacidades técnicas en actividades I+D+i dentro del ámbito de la Ingeniería del Terreno.
- Capacidad para realizar análisis de estabilidad de terrenos en condiciones pseudoestáticas y en condiciones dinámicas.
- Capacidad para analizar el comportamiento mecánico de terrenos en condiciones dinámicas.
- Capacidad para el proyecto de túneles y obras subterráneas.
- Capacidad para el proyecto de obras de cimentación, y de obras subterráneas de uso civil y el diagnóstico sobre su integridad.

PROGRAMA DE CONTENIDOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

TEÓRICO

BLOQUE 1: DINÁMICA DE SUELOS Y GEOTECNIA EN ZONAS SÍSMICAS (Prof. Rachid El Hamdouni)

- 1. Introducción.** La materia en el contexto del Plan de Estudios. Condiciones estáticas y dinámicas. Tipos de ondas y cargas en vibraciones, voladuras y terremotos. Parámetros característicos del terreno en la Norma Sismorresistente española NSCE02, Norma de Construcción Sismorresistente: Puentes (NCSP-07), EUROCÓDIGO 8 y en la Norma UNE 22-381-93 de Control de Vibraciones producidas por Voladuras. Referencias. 2 horas
- 2. Comportamiento dinámico de suelos.** Introducción. Respuesta dinámica del terreno. Resistencia dinámica y gradiente de velocidad de aplicación de tensiones. Parámetros básicos: Módulo dinámico de Young (E), Módulo dinámico al esfuerzo cortante (G), Módulo dinámico de deformación volumétrica (K), Relación de Poisson (ν), Amortiguación o "damping". Parámetros tensión-deformación. Parámetros de licuefacción. Correlaciones empíricas del módulo G. Correlaciones para el factor de amortiguamiento crítico. Modelos de comportamiento dinámico de los suelos. 2 horas
- 3. Comportamiento dinámico de los suelos granulares.** Introducción. Deformaciones inducidas por los terremotos: resultados experimentales. Densificación y asentos. Cálculo de asentos producidos por terremotos. Pérdida de resistencia: licuefacción sísmica. Licuefacción de suelos arenosos, limosos y arcillosos y el papel de la fracción fina. Cálculo de las condiciones de licuefacción en el terreno. Estabilización de suelos licuables. Mapas de susceptibilidad a la licuefacción. El Mapa de Susceptibilidad a la



- Licuefacción Sísmica de la Comarca de Granada. Referencias. 2 horas
4. **Comportamiento dinámico de suelos cohesivos.** Introducción. Deformaciones inducidas por los terremotos: módulo secante y amortiguamiento. Influencia de la plasticidad de los suelos cohesivos en la respuesta dinámica. Influencia del índice de poros. Efecto del gradiente de aplicación de la carga. Efecto de la repetición de la carga. Efecto de los procesos de consolidación primaria y secundaria. Referencias. 2 horas
 5. **Estabilidad de taludes y laderas de suelos y rocas en condiciones dinámicas.** Introducción. Movimientos de ladera y terremotos. El análisis de la estabilidad de taludes y laderas frente a terremotos. Inestabilidad derivada de las fuerzas de inercia: métodos pseudoestáticos. El análisis dinámico de la inestabilidad. Deformación permanente: teoría del bloque deslizante. Desarrollos de la teoría del bloque deslizante de Newmark (1965). Método de cálculo de Makdisi y Seed (1978). Análisis tensión-deformación. Análisis de la inestabilidad por ablandamiento del terreno. Referencias. 3 horas
 6. **Cálculo sísmico de cimentaciones y estructuras de contención.** Introducción. Métodos de cálculo. Método de la cuña plástica, método pseudoestático, métodos dinámicos, método del semiespacio viscoelástico, método del coeficiente de balasto, métodos reológicos, modelo de elementos finitos, método de Mononobe-Okabe. 4 horas

BLOQUE 2: OBRAS SUBTERRÁNEAS Y TÚNELES (Prof. Juan Carlos Hernández)

1. Reconocimiento del terreno y campaña geotécnica en túneles. Trabajos de campo y ensayos específicos para túneles, estudio hidrológico y su aplicación en el diseño y construcción de túneles. 1 hora
2. Diseño y Construcción de Túneles. Métodos de cálculo analítico, numérico y empírico. Procedimientos de construcción de túneles, y unidades de obra más significativas. 2 horas
3. Métodos convencionales de ejecución de túneles. Nuevo método austriaco, método belga y alemán. Ejecución de túneles por cut and cover y bottom up. 2 horas
4. Las Maquinas Integrales en Túneles: Las Tuneladoras. Tipos de tuneladoras, principales características y aplicación de cada una de ellas en función de la tipología de obra y terreno. 2 horas
5. El Sostenimiento y sus Elementos. Sostenimientos pesados y ligeros, costo de cada uno de ellos y optimización del sostenimiento con la colaboración del terreno. El Método de las Curvas Características. 2 horas
6. Control de Ejecución, instrumentación y Auscultación. Redacción de planes de auscultación, instrumentos colocados dentro y fuera del túnel, definición de umbrales y frecuencias de medidas para un correcto control de ejecución. 2 horas
7. Las Deformaciones del Terreno: Subsistencia y Convergencia. Medidas para evitarlas incluidas en el diseño y utilización de la instrumentación para comprobar la eficacia de las mismas durante la ejecución de la obra. 2 horas
8. Tratamientos del terreno en túneles y obras singulares. Inyecciones, micropilotes, jet grouting, diseño y cálculo de tratamientos del terreno en obras singulares y túneles. 2 horas

PRÁCTICO

BLOQUE 1: DINÁMICA DE SUELOS Y GEOTECNIA EN ZONAS SÍSMICAS (Prof. Rachid El Hamdouni)

- Parámetros del terreno en NSCE-02 (Edificación y parte general), NCSP-07 (Puentes), EUROCÓDIGO 8 y Norma UNE 22-381-93. 2 horas
- Determinación de parámetros dinámicos. 2 horas
- Cálculo del asiento vertical inducido por un terremoto y determinación de la condición de



licuefacción del terreno. 2 horas

- Cálculo pseudoestático de la estabilidad de un talud y determinación de la aceleración de cesión. 2 horas
- Cálculo de la deformación permanente de un talud por los métodos de Newmark (1965) y Jibson (1994) y una ladera por licuefacción. 2 horas
- Práctica en ordenadores mediante software específico en: estabilidad de taludes y laderas en condiciones dinámicas. 2 horas
- Cálculo sísmico de cimentaciones y estructuras de contención. 2 horas
- Sesión de evaluación al final del bloque 1. 1 hora

BLOQUE 2: OBRAS SUBTERRÁNEAS Y TÚNELES (Prof. Juan Carlos Hernández)

- La Formulación Elástica y el Método de las Curvas Características. 2 horas
- Tratamiento del terreno, Micropilotes, pernos, bulones, jet. 2 horas
- Cálculo analítico, empírico y numérico. 2 horas
- Instrumentación y Auscultación. Convergencia y subsidencia. 2 horas
- Conferencia de un experto en ejecución de túneles. 2h
- Presentación oral de trabajos realizados en grupo. 4 horas
- Sesión de evaluación al final del bloque 2. 1 hora

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL

BLOQUE 1: DINÁMICA DE SUELOS Y GEOTECNIA EN ZONAS SÍSMICAS

- El Hamdouni, R. (2024). Apuntes y presentaciones de Dinámica de Suelos y Rocas. Tablón de docencia. Acceso Identificado de la Universidad de Granada.

BLOQUE 2: OBRAS SUBTERRÁNEAS Y TÚNELES

- Hernández del Pozo, JC, et al. 2009. Sistemas y Procedimientos Constructivos para la Ejecución de Túneles. ED Fleming.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

BLOQUE 1: DINÁMICA DE SUELOS Y GEOTECNIA EN ZONAS SÍSMICAS

- Díaz Rodríguez, A. (2005). Dinámica de Suelos. Limusa. Noriega Editores. 311 pp. México.
- Kramer, S.L. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, Inc.,
- Milutin Srbulov (2011). Practical Soil Dynamics: Case Studies in Earthquake and Geotechnical Engineering. Springer
- Nozomu Yoshida (2015). Seismic Ground Response Analysis. Springer.
- Eurocódigo 8: Disposiciones para el proyecto de estructuras sismorresistentes. Parte 5: Cimentaciones. Estructuras de Contención de tierras y aspectos geotécnicos.
- NCSR-02: Norma de construcción sismorresistente: Parte general y edificación.
- NCSR-07: Norma de construcción sismorresistente: Puentes.
- UNE22381-93: Norma AENOR de Voladuras

BLOQUE 2: OBRAS SUBTERRÁNEAS Y TÚNELES



- López Jimeno, Carlos. Editor. Manual de Túneles y Obras Subterráneas. U.P.M. Madrid 2003
- Jiménez Salas José Antonio. et.: Geotecnia y Cimientos. Tomo III. ED Rueda. Madrid 1980.
- González de Vallejo, Luís. Ingeniería Geológica. ED Pearson Educación. Madrid 2002.
- Garrido Manrique, J. & Robles Pérez, C. (Coord). 1998: Ingeniería geotécnica de túneles. GEU Pág. 430. Granada. ISBN 84-95276-19-4

ENLACES RECOMENDADOS

<http://deepsoil.cee.illinois.edu/> (software para Análisis 1D linear y no linear equivalente de respuesta de sitio)

<https://pubs.usgs.gov/tm/12b1/> (software para el análisis de deformación permanente de laderas)

<https://aetos.es/> (Asociación Española de Túneles Y Obras Subterráneas)

<https://www.sciencedirect.com/journal/tunnelling-and-underground-space-technology>
Revista "Tunnelling and Underground Space Technology". ISSN: 0886-7798

METODOLOGÍA DOCENTE

- MD01 Lección magistral/expositiva
- MD03 Resolución de problemas y estudio de casos prácticos
- MD04 Prácticas de laboratorio
- MD07 Análisis de fuentes y documentos
- MD08 Realización de trabajos en grupo
- MD09 Realización de trabajos individuales

EVALUACIÓN (instrumentos de evaluación, criterios de evaluación y porcentaje sobre la calificación final)

EVALUACIÓN ORDINARIA

El artículo 17 de la Normativa de Evaluación y Calificación de los Estudiantes de la Universidad de Granada establece que la convocatoria ordinaria estará basada preferentemente en la evaluación continua del estudiante, excepto para quienes se les haya reconocido el derecho a la evaluación única final.

Bloque 1: Dinámica de suelos y geotecnia en zonas sísmicas. Prof. Rachid El Hamdouni

- **Asistencia, participación y entrega de las tareas planteadas y realizadas en clase**
 - Criterios de evaluación: Asistencia y participación en clase. Realización en clase, entrega y resolución correcta de las tareas planteadas
 - Porcentaje sobre calificación final: 30 %
- **Examen de teoría tipo test al final del bloque**
 - Criterios de evaluación: cuestiones tipo test, en cada una de las cuales se propondrán 3 respuestas con sendos cuadrados donde deberán marcar la que



consideren correcta. Solamente una de las 3 respuestas será correcta (0.5 punto), mientras que las 2 restantes son incorrectas y en el caso de ser elegidas el punto correspondiente puntuará negativamente (-0.25 puntos). En caso de dejar la respuesta en blanco esto no puntuará ni penalizará

- Porcentaje sobre calificación final: 30 %
- **Examen de problemas al final del bloque**
 - Criterios de evaluación: Se propondrán ejercicios prácticos a resolver y solo se puntuarán aquellos ejercicios cuyo procedimiento y resultado, ambos correctos.
 - Porcentaje sobre calificación final: 40 %

Bloque 2. Obras Subterráneas y Túneles. Prof. Juan Carlos Garvayo.

- **Asistencia y participación en clase**
 - Criterios de evaluación: Asistencia y participación en clase.
 - Porcentaje sobre calificación final: 30 %
- **Presentación oral del trabajo entregado.**
 - Criterios de evaluación: Calidad del trabajo entregado y su adecuación a la propuesta. Claridad en la presentación y las respuestas a las preguntas planteadas.
 - Porcentaje sobre calificación final: 40 %
- **Examen de teoría con preguntas cortas al final del bloque**
 - Criterios de evaluación: adecuación de las respuestas a las preguntas planteadas.
 - Porcentaje sobre calificación final: 30 %

Es necesario obtener una nota mínima de 4 en cada uno de los dos bloques para poder hacer media entre los 2 bloques. En caso de tener alguna nota inferior a 4 en algún bloque se podrá guardar la nota del bloque aprobado (superior o igual a 5) y repetir en la **convocatoria extraordinaria** solo el bloque suspendido (inferior o igual a 5). En todo caso, si la nota obtenida en algún bloque es inferior a 4, la nota global de la asignatura en acta será como máximo 4,9

EVALUACIÓN EXTRAORDINARIA

El artículo 19 de la Normativa de Evaluación y Calificación de los Estudiantes de la Universidad de Granada establece que los estudiantes que no hayan superado la asignatura en la convocatoria ordinaria dispondrán de una convocatoria extraordinaria. A ella podrán concurrir todos los estudiantes, con independencia de haber seguido o no un proceso de evaluación continua. De esta forma, el estudiante que no haya realizado la evaluación continua tendrá la posibilidad de obtener el 100% de la calificación mediante la realización de una prueba y/o trabajo.

- **Examen de teoría con preguntas cortas y/o tipo test**
 - Criterios de evaluación: adecuación de las respuestas a las preguntas planteadas.
 - Porcentaje sobre calificación final: 40 %
- **Examen práctico de problemas**
 - Criterios de evaluación: adecuación del procedimiento y resultados obtenidos
 - Porcentaje sobre calificación final: 60 %

EVALUACIÓN ÚNICA FINAL

El artículo 8 de la Normativa de Evaluación y Calificación de los Estudiantes de la Universidad de Granada establece que podrán acogerse a la evaluación única final, el estudiante que no pueda cumplir con el método de evaluación continua por causas justificadas.

Para acogerse a la evaluación única final, el estudiante, en las dos primeras semanas de



impartición de la asignatura o en las dos semanas siguientes a su matriculación si ésta se ha producido con posterioridad al inicio de las clases o por causa sobrevenidas. Lo solicitará, a través del procedimiento electrónico, a la Coordinación del Máster, quien dará traslado al profesorado correspondiente, alegando y acreditando las razones que le asisten para no poder seguir el sistema de evaluación continua.

La evaluación en tal caso consistirá en:

- **Examen de teoría con preguntas cortas y/o tipo test**
 - Criterios de evaluación: adecuación de las respuestas a las preguntas planteadas.
 - Porcentaje sobre calificación final: **40 %**
- **Examen práctico de problemas**
 - Criterios de evaluación: adecuación del procedimiento y resultados obtenidos
 - Porcentaje sobre calificación final: **60 %**

INFORMACIÓN ADICIONAL

Información de interés para estudiantado con discapacidad y/o Necesidades Específicas de Apoyo Educativo (NEAE): [Gestión de servicios y apoyos](https://ve.ugr.es/servicios/atencion-social/estudiantes-con-discapacidad) (<https://ve.ugr.es/servicios/atencion-social/estudiantes-con-discapacidad>).

