

MENDOZA, 08 SET 2021

VISTO:

El contenido del EXP-E-CUY: 25692/2021 en el cual obra el proyecto de creación de la carrera de Posgrado “Maestría en Ingeniería Geotécnica”, elaborado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo; y:

CONSIDERANDO:

Que la carrera propuesta, se enmarca en el Programa Binacional para el Fortalecimiento de Redes Universitarias Argentino-Alemanas y se desarrolla conjuntamente con la Universidad Técnica de Múnich (Alemania).

Que, actualmente, en el ámbito de la Ingeniería Geotécnica, se plantean desafíos crecientes en todo el mundo incidiendo en problemáticas muy diversas como la planificación urbana y la construcción de grandes obras de infraestructura.

Que el objetivo de la mencionada carrera de posgrado es generar egresados altamente especializados en el ámbito de la Ingeniería Geotécnica, que cuenten con una formación adecuada en las dos grandes ramas de la Ingeniería Geotécnica como son la Mecánica de Suelos y la Mecánica de Rocas que intervienen en la construcción de grandes obras de infraestructura.

Que se busca que los egresados cuenten con conocimientos que les permitan enfrentar las problemáticas que ofrecen la construcción, operación y “decomisionado” de presas (convencionales y de relaves), taludes y túneles.

Que la mencionada propuesta está destinada a graduados universitarios en carreras de grado acreditadas por la CONEAU (u organismo equivalente) y con reconocimiento oficial por parte del Ministerio de Educación de la República Argentina con un plan de estudios no menor a cuatro (4) años de duración.

Que el Plan de Estudios cumple con los requisitos de formulación de diseño que fija la normativa vigente en esta Casa de Estudios.

Que la Dirección General de Posgrado de la Facultad de Ingeniería y el Área de Evaluación Curricular y Acreditación de la Secretaría de Investigación, Internacionales y Posgrado de la UNCuyo han prestado conformidad al proyecto de referencia.

Lo dispuesto por Resolución N° 323/2020-R, Ad referéndum, ratificada por Resolución N° 83/2020-CS y la Resolución N° 44/2020-FI, Ad referéndum, ratificada por Resolución N° 25/2020-CD.

Lo aconsejado por la Comisión de Asuntos Académicos, aprobado por este Cuerpo en sesión del día 07 de setiembre de 2021.

En uso de sus de sus atribuciones,

**EL CONSEJO DIRECTIVO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ORDENA:**

ARTICULO 1°. Aprobar el Plan de Estudios correspondiente a la carrera de Posgrado “Maestría en Ingeniería Geotécnica”, a desarrollarse en el ámbito de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo, de acuerdo con al detalle del ANEXO I, que con treinta y una (31) páginas, forma parte de la presente Ordenanza.

ARTICULO 2°. Solicitar al Consejo Superior de la Universidad Nacional de Cuyo la ratificación de la presente Ordenanza.

ARTÍCULO 3°. La presente Ordenanza que se emite en formato digital, será reproducida con el mismo número en soporte papel cuando concluya la situación de emergencia sanitaria y puedan reiniciarse con normalidad las actividades presenciales en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo.

ARTICULO 4°. Comuníquese y archívese en el libro de Ordenanza.

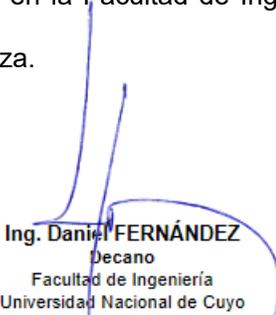
**ORDENANZA – CD N° 008/2021**



Lic. Marcela QUERCETTI  
Directora General Administrativa  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional de Cuyo



Dr. Ing. Anibal MIRASSO  
Secretario Académico  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional de Cuyo



Ing. Daniel FERNÁNDEZ  
Decano  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional de Cuyo

**ANEXO I**

**CARRERA DE POSTGRADO  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA GEOTÉCNICA**

**PLAN DE ESTUDIOS DE LA CARRERA**



**1. Fundamentos**

La Maestría en Ingeniería Geotécnica se enmarca en un Programa de Doble Titulación con la Technische Universität München, Alemania. Esta carrera se inspira en el Master of Geotechnical Engineering implementado en numerosas universidades del mundo. No existen antecedentes de este tipo de carrera en la Región de Cuyo y el Sur Argentino.

La complejidad de los actuales proyectos de obras civiles requiere de la concurrencia y coordinación de varias especialidades dentro de la Ingeniería Civil (IC). La Ingeniería Geotécnica (IG) es la rama de la IC que se ocupa del estudio del comportamiento de los materiales geológicos que integran el terreno (entendido como la configuración natural que incluye a los suelos, los macizos rocosos y las aguas subterráneas), así como del desarrollo de tecnologías y metodologías para su uso y consideración en el diseño, la construcción y el mantenimiento de obras civiles. La descripción del comportamiento del terreno y de los materiales geológicos y sus aplicaciones tecnológicas representa un gran desafío principalmente porque los mismos están compuestos de múltiples fases (sólida, líquida, gaseosa) y sus propiedades ingenieriles (mecánicas, hidráulicas, térmicas), que dependen de su historia geológica, son altamente variables y complejas en comparación con otros materiales de construcción.

La relación de la IG con las otras disciplinas de la IC es evidente: todas las estructuras interactúan de alguna forma con el terreno. Debido a los elevados requisitos técnicos y al constante aumento en la complejidad de las obras civiles (construcciones en zonas urbanas, de alta peligrosidad sísmica, de carácter inundable o de deslizamientos, construcciones offshore, etc.) es imprescindible y práctica común hoy en día en la IC la consideración de la interacción entre el suelo y las estructuras. Por lo tanto, resulta de suma importancia contar con una carrera que permita formar profesionales e investigadores capaces de desarrollar y aplicar herramientas innovadoras para el análisis y el monitoreo del comportamiento del terreno, las estructuras y la influencia de estas sobre su entorno durante su construcción y operación.

Los recursos humanos, que son limitados en esta área de la ingeniería en la República Argentina, son fundamentales tanto para el desarrollo sustentable de infraestructuras como para reducir los efectos de estas y de la explotación de los recursos naturales sobre el medio ambiente. La participación de ingenieros geotécnicos es también necesaria para aumentar la productividad de las fuentes de energía renovable, especialmente eólica, hidráulica y geotérmica, y controlar las consecuencias de las catástrofes naturales como terremotos, deslizamientos de tierra e inundaciones que azotan sobre las personas y su hábitat. La escasez de especialistas en ingeniería geotécnica se pone también de manifiesto en el incipiente estado de desarrollo que presentan las normas geotécnicas en comparación con otras normas de la IC y con el contexto internacional. La falta de normativas nacionales que definan los requerimientos respecto a las investigaciones geotécnicas a ser realizadas, a los factores de seguridad y otros objetivos de desempeño, a los métodos de cálculo a ser

empleados, a los métodos de construcción a ser aplicados y a los controles de calidad previos y posteriores a la realización de las obras, atenta contra la seguridad y sostenibilidad de las obras de ingeniería. Las normas no sólo contribuyen a hacer los riesgos geotécnicos y los costos asociados a estos más previsibles, sino también a reducir el riesgo de fallas catastróficas con la consecuente pérdida de vidas y bienes materiales.

Esta es la razón principal por la que distintas organizaciones del ámbito público y privado de la República Argentina, así como numerosos profesionales del medio, han expresado reiteradamente la necesidad de contar con un trayecto formativo altamente especializado en Geotecnia, que considere las características de las diferentes regiones del país.

En este sentido, se ha previsto que la Maestría en Ingeniería Geotécnica genere un impacto muy positivo en el ámbito regional, local e institucional ya que proveerá profesionales altamente especializados y competentes en la resolución de problemas insuficientemente atendidos hasta el momento; aportando además, el contexto necesario para el desarrollo de investigaciones en problemáticas propias de la IG que muestran un potencial significativo.

La importancia de la IG se refleja en la posibilidad que ofrecen las universidades de los países desarrollados y de varios países en vías de desarrollo para especializarse en este campo de la IC. Si bien actualmente en la carrera de Ingeniería Civil que se dicta en las universidades argentinas se transmiten conocimientos básicos de Mecánica de Suelos y Mecánica de Rocas y sus aplicaciones a diferentes problemas de ingeniería, las posibilidades de especializarse en IG o de hacer maestrías o doctorados en esta área son extremadamente limitadas. Así, a diferencia de otras ramas de la Ingeniería Civil que cuentan con sus respectivas especializaciones, maestrías o doctorados, los ingenieros egresados de universidades argentinas con interés en el área geotécnica tienen pocas opciones de realizar estudios de posgrado en el país.

En las carreras de IC de las universidades argentinas, la carga horaria de las asignaturas relacionadas al área de Geotecnia es acotada. Esta situación limita el grado de especialización que puede alcanzar el Ingeniero Civil en esta disciplina. Por lo tanto, la creación de una nueva carrera de postgrado es relevante en función de las necesidades de perfeccionamiento de los recursos humanos en un área de vacancia.

Teniendo en cuenta este contexto y en el marco del Programa Binacional para el Fortalecimiento de Redes Universitarias Argentino-Alemanas, se propone desarrollar un proyecto con participación de la Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo), la Universidad Nacional de Tucumán (UNT) y la Technische Universität München (TUM) con el objetivo de capacitar a ingenieros civiles y profesionales afines en el área de la IG. A partir de la financiación obtenida en noviembre de 2017 responsables de las tres universidades comenzaron a trabajar en la formulación de un proyecto integral que combinara y optimizara las estructuras existentes y los recursos humanos de las universidades participantes.

El Prof. Dr. Ing. Roberto CUDMANI y el Prof. Mag. Ing. Arnaldo M. BARCHIESI se conocieron personalmente con motivo de un evento científico internacional en el que ambos participaron. A partir de ese momento fue generándose un vínculo académico creciente entre la TUM y la UNCuyo, que ha permitido el desarrollo de diversas acciones desembocando en la propuesta de creación de la Maestría en Ingeniería Geotécnica. Las acciones más destacadas realizadas con la intervención de ambas instituciones son:

- En el marco del Programa IDEAR (Ingenieros Deutschland - Argentina) del CUA – DAHZ (Centro Universitario Argentino – Alemán - Deutsch - Argentinisches Hochschulzentrum), el Prof. BARCHIESI realizó una misión a Múnich del 06 al 14 de noviembre de 2016 con la finalidad de conocer la TUM y en particular el Zentrum

Anexo I – Ord. – CD N° **008/2021**

Geotechnik [IG], así como de explorar las posibilidades de desarrollar una Maestría en Ingeniería Geotécnica entre la UNCuyo y la TUM. Como parte de la misión, el visitante realizó diferentes presentaciones científico - institucionales ante el equipo de investigadores y alumnos del [ZG].

- 
- En el marco del mismo Programa IDEAR, el Prof. CUDMANI realizó una misión a Mendoza del 27 de noviembre al 02 de diciembre de 2016 con la finalidad de conocer la UNCuyo y en particular la Facultad de Ingeniería y el Área Geotecnia [IG], así como de explorar las posibilidades de desarrollar una Maestría en Ingeniería Geotécnica entre la UNCuyo y la TUM. Como parte de la misión, el visitante realizó diferentes presentaciones científico - institucionales ante el equipo de investigadores y alumnos de la Facultad de Ingeniería.
  - Como parte del mismo Programa IDEAR, la Facultad de Ingeniería de la UNCuyo organizó entre el 19 y el 21 de marzo de 2018 un Taller Científico destinado a la presentación del proyecto de creación de la Maestría en Ingeniería Geotécnica. En la actividad participaron autoridades, profesores y alumnos de la UNCuyo, de la TUM y de la UNT así como miembros de empresas alemanas y argentinas. En la oportunidad se realizaron, además de las correspondientes presentaciones institucionales, más de treinta (30) presentaciones de trabajos científicos, viéndose facilitado el conocimiento personal y el intercambio académico entre los participantes. Como conclusión de este encuentro se identificaron áreas de interés y potenciales temas a abordar en futuros trabajos de investigación conjunta.
  - En 2018 el Zentrum Geotechnik [ZG] de la TUM presentó ante la Comisión Europea (órgano de gobierno de la Unión Europea (EU)), el Proyecto SUSTAIL (por "sustainable tails") como parte del Programa Horizon 2020. El Proyecto estuvo orientado al estudio y búsqueda de soluciones al problema de las colas minerales en proyectos mineros europeos. Con tal motivo, la TUM encabezó un equipo de investigación integrado por universidades de distintos continentes. La UNCuyo participó como partner en la Propuesta a cargo de la temática "Hazards and Risks in Tailing Dams" (Peligros y Riesgos en Presas de Relaves Mineros) efectuando una presentación virtual de la temática en julio de 2018 ante los representantes de todas las instituciones participantes. Si bien el Proyecto no resultó aprobado para financiamiento por la Comisión Europea, permitió el afianzamiento de los vínculos científicos entre ambas instituciones.
  - Entre octubre de 2017 y abril de 2018, la estudiante Denise RICHTER de la TUM desarrolló su Tesis de Maestría cuyo título es "Examination of the scalability of granular materials in terms of their mechanical behavior - Untersuchung der Skalierbarkeit von granularen Materialien hinsichtlich ihres mechanischen Verhaltens" ("Examen de la escalabilidad de los materiales granulares en términos de su comportamiento mecánico"). La Tesis, de fuerte contenido experimental, se desarrolló íntegramente en el Área Geotecnia y fue dirigida por el Prof. Dr. Ing. Roberto CUDMANI (TUM) y contó con la participación del Prof. Mag. Ing. Arnaldo M. BARCHIESI (UNCuyo) como Supervisor.

Los docentes de la TUM realizan actividades académicas, de investigación y de consultoría geotécnica. Su participación en proyectos complejos les permite encontrar soluciones a problemas concretos, validar los resultados de la investigación y ponerlos en práctica. Además, esto contribuye a mejorar la calidad de la enseñanza y evidencia la relevancia práctica de la investigación. Entre los principales desafíos geotécnicos de la Baviera, región donde se localiza la TUM, cabe mencionar la ejecución de obras de infraestructura para el

transporte vial y ferroviario, especialmente túneles y construcciones subterráneas en zonas urbanas densamente pobladas y diferentes tipos de cimentaciones en suelos saturados blandos de muy baja capacidad portante y alta sensibilidad. Esto exige el desarrollo de nuevos métodos experimentales y modelos matemáticos capaces de predecir el comportamiento del subsuelo y de las estructuras, como así también el desarrollo de nuevos métodos de construcción y monitoreo con el objeto de limitar y controlar los efectos sobre las construcciones vecinas. Estos problemas constituyen los temas de investigación de los docentes e investigadores de la TUM.

Se promoverá que las tesis de maestría se desarrollen en el marco de proyectos de investigación o de trabajos de consultoría especializada relacionados con la temática de la Carrera.

Luego del Taller y con el propósito de optimizar la propuesta académica y científica de las universidades participantes se propuso desarrollar un Programa de Doble Titulación entre UNCuyo y TUM, contando con la estrecha colaboración de docentes de UNT.

De manera recíproca, implementar un Programa análogo entre UNT y TUM, el que contará con el apoyo de docentes de la UNCuyo. Esta propuesta permite la complementariedad entre ambas instituciones argentinas y posibilita que cada año se pueda dar inicio al Programa.

Con este esquema el dictado de la Maestría comienza en cada una de las universidades argentinas (UNT, UNCuyo) cada cuatro semestres, pero con un desfase de dos semestres entre el comienzo en una y en otra, tal como se esquematiza en el listado a continuación:

- En el segundo semestre de un año par (\*) comienza el cursado de los estudiantes en la UNCuyo continuando por tres (3) semestres consecutivos hasta el segundo semestre del año impar siguiente (\*\*).
- En el segundo semestre de un año impar (+) comienza el cursado de los estudiantes en la UNT continuando por tres (3) semestres consecutivos hasta el segundo semestre del año par siguiente (++) .
- En el apartado 8 se indica cuál de los tres (3) semestres realiza el estudiante en la universidad anfitriona.

(\*): Se ha previsto que la primera cohorte de la UNCuyo comience en el segundo semestre de 2022; la segunda lo haga en el segundo semestre de 2024 y así sucesivamente. Al mismo tiempo estarán comenzando la primera, tercera, etc. cohortes de la TUM.

(\*\*): Se ha previsto que la primera cohorte de la UNCuyo finalice el cursado en el segundo semestre de 2023; la segunda lo haga en el segundo semestre de 2025 y así sucesivamente. Al mismo tiempo estarán finalizando la primera, tercera, etc. cohortes de la TUM.

(+): Se ha previsto que la primera cohorte de la UNT comience en el segundo semestre de 2023; la segunda lo haga en el segundo semestre de 2025 y así sucesivamente. Al mismo tiempo estarán comenzando la segunda, cuarta, etc. cohortes de la TUM.

(++): Se ha previsto que la primera cohorte de la UNT finalice el cursado en el segundo semestre de 2024; la segunda lo haga en el segundo semestre de 2026 y así sucesivamente. Al mismo tiempo estarán finalizando la segunda, cuarta, etc. cohortes de la TUM.

Los detalles para la implementación del Programa de Doble Titulación entre UNCuyo y TUM se plasmaron en un Acuerdo Específico de Colaboración Académica que se firmó en el año 2020.

Anexo I – Ord. – CD N° 008/2021

## 2. Objetivos

La Carrera se propone generar egresados altamente especializados en el ámbito de la Ingeniería Geotécnica, espacio profesional caracterizado por el hecho de que las demandas de conocimientos y experiencias superan ampliamente a las ofertas. Esta situación de índole general afecta a actividades tan diversas como la industria de la construcción, la minería y el cuidado del ambiente. La Carrera se propone atender este desbalance.

Por ello se busca dotar a los egresados de sólidos conocimientos teóricos que les permitan abordar la resolución de problemas aplicados en los ámbitos más diversos de la especialidad. En particular, se buscará generar competencias tendientes a que los egresados se desempeñen con fluidez en equipos de investigación, docencia y consultoría, tanto especializados como multidisciplinarios, orientados a distintos campos técnicos que comprendan los procesos de estudio, diseño, ejecución y explotación de proyectos de infraestructura y ambientales de diverso carácter.

Se persigue también que los egresados cuenten con una formación adecuada en las dos grandes ramas de la Ingeniería Geotécnica como son la Mecánica de Suelos y la Mecánica de Rocas.

En un sentido más específico, se procura que los egresados se desempeñen con solvencia en el ámbito de la Ingeniería Geotécnica Sísmica, sub especialidad que plantea desafíos crecientes en todo el mundo incidiendo en problemáticas muy diversas como la planificación urbana y las grandes obras de infraestructura.

Como objetivos más focalizados, se busca que los egresados cuenten con conocimientos que les permitan enfrentar las problemáticas que ofrecen la construcción, operación y “decomisionado” de presas (convencionales y de relaves), taludes y túneles.

## 3. Títulos

La superación del plan de estudios del Programa de Doble Titulación permitirá al estudiante obtener los títulos indicados a continuación:

- el título de Magister en Ingeniería Geotécnica por la Universidad Nacional de Cuyo.
- el título de Master of Science por la Technische Universität München.

## 4. Duración y Carga Horaria

La Carrera tiene una duración total de veinticuatro (24) meses o cuatro (4) semestres distribuidos de la siguiente forma: dieciocho (18) meses o tres (3) semestres se destinarán al cursado de las Asignaturas Básicas y de las Asignaturas de Especialización y seis (6) meses o un (1) semestre será empleado para el desarrollo de la Tesis de Maestría.

La Carrera tiene una duración total de setecientas horas (700hs). El dictado de las Asignaturas Básicas y de Especialización insumirá un total de quinientas cuarenta horas (540hs) obligatorias distribuidas como sigue: cuatrocientas horas (400hs) para las Asignaturas Básicas y ciento cuarenta horas (140hs) para las Asignaturas de Especialización. El desarrollo de la Tesis insumirá un total de ciento sesenta horas (160hs).

## 5. Modalidad de Dictado y Sede

La carrera Maestría en Ingeniería Geotécnica comprende estudios a realizar tanto en la UNCuyo como en la TUM.

La modalidad de dictado de la carrera Maestría en Ingeniería Geotécnica es presencial en ambas instituciones (UNCuyo y TUM).

Anexo I – Ord. – CD N° 008/2021

En la UNCuyo los cursos se dictarán en la Facultad de Ingeniería (FI.UNCuyo), mientras que en la TUM la sede será la Fakultät Bau Geo Umwelt.

## 6. Destinatarios

La Carrera está destinada a graduados universitarios en carreras de grado acreditadas por la CONEAU (u organismo equivalente) y con reconocimiento oficial por parte del Ministerio de Educación de la República Argentina con un plan de estudios no menor a cuatro (4) años de duración. Deberán ser graduados, preferentemente, con algunas de las titulaciones siguientes: Ingeniero Civil, Ingeniero Hidráulico, Ingeniero en Vías de Comunicación, Ingeniero de Minas, Ingeniero en Construcciones. Aspirantes con título de Licenciado en Geología, Licenciado en Matemática, Licenciado en Física, Licenciado en Química los cuales podrán ser admitidos previo análisis de antecedentes por el Comité Académico.



## 7. Perfil del Egresado

Se formarán profesionales de alto nivel en el área geotécnica, los que podrán desempeñarse en el ámbito nacional e internacional y contarán con la formación técnica y la competencia social para integrar equipos que intervengan en la solución de problemas complejos o actuar en cargos de responsabilidad directiva en organismos públicos o empresas privadas.

Por otro lado, la inserción de recursos humanos egresados de esta Maestría en las carreras de grado permitirá fortalecer la formación de los estudiantes en un área con desarrollo limitado en la Argentina.

Esta carrera de posgrado formará al estudiante a través de cursos que abarcan disciplinas típicas del área y mediante la elaboración de un trabajo de tesis que le permitirá profundizar en temas afines aplicando metodologías de investigación y generación del conocimiento.

La Maestría en Ingeniería Geotécnica avanzará en la profundización y fundamentación de aquellos conocimientos básicos impartidos a los profesionales en la carrera de grado, así como en la presentación de nuevas tecnologías y metodologías aplicables a problemas de la práctica.

La Maestría pondrá énfasis en la formación de especialistas en el área geotécnica para actuar en los siguientes ámbitos:

- Equipos de consultoría multidisciplinarios en temas avanzados de Geotecnia.
- Organizaciones públicas, privadas y entes de planificación, financiación y control de obras civiles.
- Grupos de investigación científica y tecnológica.
- Docencia universitaria.

Los profesionales formados en la Maestría podrán operar en los siguientes campos técnicos:

- Diseño, desarrollo y operación de obras de gran envergadura con alto contenido geotécnico.
- Estudio de factibilidad de proyectos sustentables.
- Planeamiento y ejecución de investigaciones geotécnicas en campo y laboratorio.
- Evaluación del peligro sísmico.
- Aplicación de métodos de construcción subterránea (cimentaciones, excavaciones, túneles).
- Reutilización de desechos minerales e industriales, incluyendo mejoramiento de suelos con aditivos cementantes y no cementantes.
- Concepción, proyecto y construcción de obras de infraestructura fluvial, vial, ferroviaria y aérea.

Anexo I – Ord. – CD N° **008/2021**

- Proyecto y construcción de depósitos de residuos urbanos e industriales.
- Explotación de fuentes de energía renovable (hidráulica, eólica, geotérmica, solar).

## 8. Estructura Curricular

El diseño curricular de la Carrera se basa en los estándares definidos en la reglamentación establecida por la CONEAU para las carreras de posgrado argentinas.

La carrera se organiza en distintas actividades curriculares: cursos, prácticas, trabajo de tesis.

Se trata de una Carrera Nueva y corresponde a una Maestría Académica. La Carrera es semiestructurada y la modalidad de dictado es presencial.

El Plan de Estudios considera un trayecto estructurado con una cantidad establecida de nueve (9) Asignaturas Básicas (obligatorias) con una carga total de 400hs y un trayecto personalizado con una cantidad variable de Asignaturas de Especialización (optativas) con una carga total de 140hs.

Los estudiantes inscriptos en la UNCuyo, deberán cursar y aprobar siete (7) de las nueve (9) Asignaturas Básicas obligatorias mencionadas en la UNCuyo; mientras que deberán cursar y aprobar las dos (2) restantes en la TUM.

El número de Asignaturas de Especialización se puede modificar en las sucesivas ediciones de la Carrera, siempre garantizando que la oferta disponible será suficiente para cubrir la carga horaria establecida para ellas.

Los estudiantes deberán realizar el primer semestre en su universidad de origen y al menos deberán desarrollar un semestre de estudios en la universidad anfitriona. En el siguiente esquema se presenta el plan de estudios para los estudiantes inscriptos en la TUM que tomarán cursos en la UNCuyo (Plan de Estudios 1) y el aplicable a estudiantes inscriptos en la UNCuyo que tomarán cursos en la TUM (Plan de Estudios 2).

- a) Plan de Estudios 1: para estudiantes de TUM que asisten a UNCuyo
  - Primer semestre: TUM
  - Segundo semestre: TUM
  - Tercer semestre: UNCuyo
  - Cuarto semestre: Tesis de Maestría en TUM o en UNCuyo.
- b) Plan de Estudios 2: para estudiantes de UNCuyo que asisten a TUM
  - Primer semestre: UNCuyo
  - Segundo semestre: TUM
  - Tercer semestre: UNCuyo
  - Cuarto semestre: Tesis de Maestría en UNCuyo o en TUM.

Aquellos estudiantes pertenecientes a la UNCuyo que participen del Programa deberán cursar en la TUM las dos materias obligatorias siguientes (ver Anexo III y Anexo IV).

- “Ingeniería de Cimentaciones y Construcción en Rocas” de la orientación Ingeniería Geotécnica (Geotechnik). Se asignan 40hs a esta asignatura.
- “Estructuras de Hormigón e Ingeniería Geodésica en Túneles” de la orientación Construcción de Túneles (Tunnelbau). Se asignan 40hs a esta asignatura.

Conforme a lo establecido en el artículo 5, los estudiantes deberán cursar asignaturas optativas disponibles ya sea en la UNCuyo (Anexo II) o en la TUM (Anexo III y Anexo IV), totalizando al menos una carga obligatoria de 140hs.

Anexo I – Ord. – CD N° **008/2021**

Los alumnos tendrán derecho a cursar asignaturas optativas disponibles en la TUM (Anexo III y Anexo IV) por un máximo de 180hs.

Los estudiantes deberán someter a consideración del Comité Académico para su revisión y aprobación, la elección de materias a cursar en la TUM.

En el Anexo V se incluye un cuadro resumen indicativo de las horas que los alumnos deberán aplicar a las distintas actividades comprendidas en la Carrera.

En el Anexo VI se incluyen los contenidos mínimos de cada una de las asignaturas de la Carrera a dictar en la UNCuyo. En el Anexo VII se incluyen los contenidos mínimos de cada una de las asignaturas de la Carrera a dictar en la TUM.

La Carrera culminará con un trabajo final, individual y escrito con formato de tesis, el que se deberá desarrollar bajo la supervisión de un Director y eventualmente un Codirector en el lapso de un (1) semestre a partir de la culminación de las actividades curriculares. Al menos el Director o el Codirector deben ser profesores en la Universidad de origen del estudiante. A solicitud del interesado y de ser aprobado por el Comité Académico, podrá extenderse hasta dos (2) semestres adicionales. Una vez aceptado por las autoridades de la carrera, la tesis deberá defenderse ante un tribunal examinador como se especifica en el Reglamento de la carrera.

La casi totalidad de los profesores de la Carrera integran equipos de investigación dedicados a la Ingeniería Geotécnica. Por ello integrarán en sus clases, los aspectos teóricos más directamente relacionados con sus investigaciones y aportarán ejemplos de aplicación relacionados. Por otra parte, estarán en condiciones de proponer temas de tesis que, además de consolidar el proceso formativo de los estudiantes, signifiquen avances relevantes en sus investigaciones y actividades de transferencia.

### **Anexo I. Listado de asignaturas básicas obligatorias con sede en UNCuyo.**

Todas las asignaturas se dictarán bajo la modalidad de curso teórico – práctico

<b>Asignatura Básica</b>	<b>Obligatoria</b>	<b>Optativa</b>	<b>Horas Teoría</b>	<b>Horas Práctica</b>	<b>Horas Totales</b>
MECÁNICA DEL CONTÍNUO	SI	NO	30	10	<b>40</b>
MÉTODOS NUMÉRICOS	SI	NO	25	15	<b>40</b>
COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS	SI	NO	30	20	<b>50</b>
MECÁNICA DE ROCAS	SI	NO	35	15	<b>50</b>
DINÁMICA DE SUELOS E INGENIERÍA GEOTÉCNICA SÍSMICA	SI	NO	25	15	<b>40</b>
INGENIERÍA DE PRESAS Y TALUDES	SI	NO	30	20	<b>50</b>
GEOLOGÍA DE TERREMOTOS APLICADA	SI	NO	30	20	<b>50</b>
<b>Horas por Asignaturas obligatorias en UNCuyo por Anexo I:</b>					<b>320</b>

Anexo I – Ord. – CD N° **008/2021**

### Anexo II. Listado de asignaturas de especialización optativas con sede en UNCuyo.

Todas las asignaturas se dictarán bajo la modalidad de curso teórico – práctico



Asignatura de Especialización	Obligatoria	Optativa	Horas Teoría	Horas Prácti-ca	Horas Totales
MECÁNICA DE SUELOS NO SATURADOS	NO	SI	30	10	40
INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA	NO	SI	35	15	50
USO SUSTENTABLE DE RESIDUOS SÓLIDOS Y GEOMATERIALES	NO	SI	25	15	40
PRESAS DE RELAVES MINEROS	NO	SI	30	10	40
GEOFÍSICA APLICADA A LA GEOTECNIA	NO	SI	20	20	40
HIDROGEOLOGÍA	NO	SI	30	10	40
CARACTERIZACIÓN DE SITIOS	NO	SI	25	15	40
MÉTODO DEL PUNTO MATERIAL	NO	SI	30	10	40
DINÁMICA ESTRUCTURAL	NO	SI	25	15	40
MODELACIÓN CONSTITUTIVA	NO	SI	35	15	50
PRÁCTICA DE GEOTECNIA	NO	SI	5	15	20

### Anexo III. Listado de asignaturas de la especialidad “Ingeniería Geotécnica (Geotechnik)” con sede en TUM.

Todas las asignaturas se dictarán bajo la modalidad de curso teórico – práctico

Asignatura	Obligatoria	Optativa	Horas Teoría	Horas Práctica	Horas Totales
MECÁNICA AVANZADA DE SUELOS Y ROCAS	NO	SI	30	10	40
INGENIERÍA DE CIMENTACIONES Y CONSTRUCCIÓN EN ROCAS	<b>SI</b>	NO	30	10	<b>40</b>
CONSTRUIR CON GEOSINTÉTICOS PARA INGENIEROS CIVILES	NO	SI	15	5	20
DINÁMICA DE SUELOS E INGENIERÍA GEOTÉCNICA SÍSMICA	NO	SI	15	5	20

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS (*)	NO	SI	5	15	20
OBRAS DE TIERRA Y TERRAPLENES	NO	SI	15	5	20
LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS PARA INGENIEROS CIVILES	NO	SI	5	15	20
MODELOS CONSTITUTIVOS AVANZADOS Y MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS EN GEOTECNIA	NO	SI	30	10	40
INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA EN TÚNELES (*)	NO	SI	30	10	40
MECÁNICA DE SUELOS NO SATURADOS	NO	SI	15	5	20
APLICACIONES NUMÉRICAS EN INGENIERÍA GEOTÉCNICA	NO	SI	15	5	20
GEOTECNIA AMBIENTAL PARA INGENIEROS CIVILES	NO	SI	15	5	20
GEOTECNIA AMBIENTAL II	NO	SI	15	5	20
<b>Horas por Asignaturas obligatorias en UNCuyo por Anexo III:</b>					<b>40</b>

(\*) Asignatura que también corresponde a la Especialidad "Construcción de Túneles (Tunnelbau)". TUM (Anexo IV).

#### **Anexo IV. Listado de asignaturas de la especialidad "Construcción de Túneles (Tunnelbau)" con sede en TUM.**

Todas las asignaturas se dictarán bajo la modalidad de curso teórico – práctico

Asignatura	Obligatoria	Optativa	Horas Teoría	Horas Práctica	Horas Totales
INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA EN TÚNELES (**)	NO	SI	30	10	40
ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN E INGENIERÍA GEODÉSICA EN TÚNELES	SI	NO	30	10	<b>40</b>
DISEÑO DE TÚNEL	NO	SI	15	5	20
EJEMPLOS DE LA INGENIERÍA PRÁCTICA DE TÚNELES	NO	SI	10	10	20

Anexo I – Ord. – CD N° 008/2021

LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS PARA INGENIEROS CIVILES	NO	SI	5	15	20
ASPECTOS BÁSICOS DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	NO	SI	15	5	20
MODELOS CONSTITUTIVOS AVANZADOS Y MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS EN GEOTECNIA	NO	SI	30	10	40
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS (**)	NO	SI	5	15	20
<b>Horas por Asignaturas obligatorias en UNCuyo por Anexo IV:</b>					<b>40</b>



(\*\*) Asignatura que también corresponde a la Especialidad "Ingeniería Geotécnica (Geotechnik)". TUM (Anexo III).

#### Anexo V. Resumen de Horas Obligatorias (los valores indicados corresponden a horas)

Asignaturas			Tesis	TOTAL
Obligatorias	Optativas	Sub Total		
Anexo I	320	0	---	---
Anexo II	0	Variable	---	---
Anexo III	40	Variable	---	---
Anexo IV	40	Variable	---	---
Sub Total	<b>400</b>	<b>140 (a)</b>	<b>160</b>	<b>700</b>

(a): Los alumnos de la UNCuyo tendrán derecho a cursar asignaturas optativas disponibles en la TUM (Anexo III y Anexo IV) por un máximo de 180hs

#### Anexo VI. Contenidos mínimos de las Asignaturas de la Carrera a Dictar en la UNCuyo

### MECÁNICA DEL CONTÍNUO

#### Objetivos

Se busca que los alumnos alcancen los siguientes objetivos generales: Adquirir conocimientos teóricos de los fundamentos de la Mecánica del Continuo tales como tensión, deformación, deformación específica, flujo, etc. Conocer los principios generales y las principales ecuaciones constitutivas de la Mecánica del Continuo. Conocer y aplicar el cálculo variacional. Conocer las limitaciones de la Mecánica del Continuo y sus aplicaciones prácticas dentro del marco de la temática de la carrera. Adquirir conocimientos para la interpretación de presentaciones y publicaciones desarrolladas sobre la base a la Mecánica del Continuo. Extender la capacidad de participar en el desarrollo de proyectos geotécnicos que involucren conceptos de la Mecánica del Continuo. Profundizar conocimientos de álgebra vectorial y tensorial.

Anexo I – Ord. – CD N° 008/2021

## Contenidos mínimos

Introducción: El Medio Continuo. Hipótesis Fundamentales.

Vectores y Tensores: Generalidades. Adición de Vectores. Componentes escalares y vectoriales. Pseudovectores. Notación Indicial. Producto Escalar y Vectorial. Cambio de Base. Tensores como funciones vectoriales lineales. Tensor Cartesiano Rectangular. Componentes. Diádicas. Propiedades de los Tensores. Cálculo Vectorial y Tensorial. Diferenciación, Gradiente, Divergencia y Rotor.

Tensión: Fuerzas de Cuerpo y de Superficie. Generalidades. Vector Tracción y Tensión. Componentes del Tensor de Tensiones. Ejes principales de Tensión y Tensiones Principales. Invariantes. Tensores de Tensión Esférico y Deviatorico. Círculos de Mohr. Tensión Plana. Resultantes de Tensión.

Deformación y Deformación Específica: Cinemática del medio continuo. Pequeñas deformaciones y rotaciones en dos y tres dimensiones. Derivadas Materiales. Tensor Tasa de Deformación Específica. Tensor de Spin. Incremento Natural de Deformación Específica. Deformaciones y Deformaciones Específicas Finitas. Formulaciones Euleriana y Lagrangeana. Medidas Geométricas de Deformación Específica. Gradiente de Deformación Específica Relativa. Tensores de Rotación y Estiramiento. Condiciones de Compatibilidad. Determinación de Desplazamientos conocidas las Deformaciones Específicas.

Principios Generales: Introducción. Transformaciones Integrales. Flujo. Conservación de Masa. Ecuación de Continuidad. Principios de Conservación de Momentum. Ecuaciones de Equilibrio y Movimiento. Micro-cuplas. Balance de Energía. Primera ley de la Termodinámica. Ecuación de Energía. Principio de los Desplazamientos Virtuales.

Ecuaciones Constitutivas: Introducción. Materiales Ideales. Elasticidad Clásica. Ley de Hooke Generalizada. Isotropía. Hiperelasticidad. Función de Energía de Deformación Específica o Potencial Elástico. Simetría Elástica. Tensiones Térmicas. Teoría linealizada de la elasticidad. Ecuaciones de Campo. Sistemas de referencia Cartesiano, Cilíndrico y Polar.

Teoría Linealizada de la Elasticidad: Ecuaciones de Campo. Elasticidad Plana en Coordenadas Rectangulares. Componentes en Coordenadas Cilíndricas. Elasticidad Plana en Coordenadas Polares. Elasticidad Tridimensional

Calculo Variacional: Introducción. Extremo de Funciones de varias variables. Multiplicadores de Lagrange. Funcionales. Extremo de Funcionales. Variación de un Funcional. Ecuación de Euler. Métodos directos. Método de Ritz. Aplicación al problema elástico lineal.

## MÉTODOS NUMÉRICOS

### Objetivos

Se busca que los alumnos alcancen los siguientes objetivos generales: Mejorar y completar sus conocimientos de matemática aplicada necesarios para la resolución de problemas de Geotecnia.

Adquirir los conocimientos necesarios para la solución numérica de problemas frecuentes tales como aproximación polinomial, valores y vectores propios, transformadas de Fourier y análisis de señales.

Anexo I – Ord. – CD N° 008/2021

### Contenidos mínimos

Métodos numéricos para sistemas de ecuaciones lineales. Métodos de Descomposición. Factorización LU, Método de Cholesky. Métodos Iterativos.

Métodos numéricos para interpolación y aproximación polinomial. Aproximación de funciones discretas y continuas. Residuo de la aproximación. Interpolación como condición fuerte del residuo, usando como base polinomios de Lagrange, de Newton, de Legendre. Método de Mínimos Cuadrados.

Solución numérica de problemas de valores y vectores propios. Métodos de la Potencia y Potencia Inversa, con y sin escalamiento.

Solución numérica de ecuaciones diferenciales ordinarias y a derivadas parciales. Métodos de Euler, Runge-Kutta, y Predictor Corrector. Métodos Implícitos y Explícitos. Métodos de Diferencia Central, de Newmark y de Wilson. Método de Diferencias Finitas.

Transformada de Fourier Discreta (TFD), transformada rápida de Fourier (FFT), interpolación trigonométrica con TFD, aplicación de FFT al análisis de señales sísmicas y al conocimiento de los suelos.

Aplicaciones de métodos numéricos en problemas de geotecnia.



## COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS

### Objetivos

Se procura que los alumnos alcancen los siguientes objetivos generales: Adquirir conocimientos propios del comportamiento drenado y no-drenado de suelos para los análisis de deformaciones y tensiones totales y efectivas.

Adquirir conocimientos que permitan relacionar los ensayos físicos de laboratorio con los modelos teóricos tanto de elasticidad como de elastoplasticidad.

Conocer y aplicar conceptos clave como los de estado crítico y los modelos geotécnicos más relevantes y útiles.

### Contenidos mínimos

Estudio de tensiones, deformaciones y trayectoria de tensiones. Análisis drenados y no-drenados.

Tensiones efectivas. Concepto de dilatancia. Ensayos de laboratorios: edométricos, triaxiales, corte directo y corte simple. Comportamiento mecánico de suelos granulares y finos bajo carga monótona y cíclica.

Introducción a la modelación del comportamiento de suelos. Teoría de la elasticidad y elastoplasticidad.

Deformaciones elásticas y plásticas. Potencial plástico. Regla de flujo. Criterios de rotura clásicos. Endurecimiento y ablandamiento plásticos. Teoría de Estado Crítico y Modelo Cam-Clay. Otros modelos avanzados. Determinación de los parámetros de los modelos.

Aplicación a suelos granulares y finos.

Simulación de ensayos de laboratorio mediante aplicación de las ecuaciones constitutivas de los modelos presentados. Ejemplos de aplicación para la solución de problemas geotécnicos.

Anexo I – Ord. – CD N° 008/2021

## MECÁNICA DE ROCAS

### Objetivos

Se busca que los alumnos alcancen los siguientes objetivos generales: Adquirir los conceptos propios de la Mecánica de Rocas tanto a nivel de fragmento como al de macizo rocoso.

Incorporar los conocimientos específicos que permiten la obtención de las propiedades físicas mediante ensayos de laboratorio al nivel de fragmento rocoso. Incorporar los conocimientos que permiten la caracterización y clasificación de los macizos rocosos.

Adquirir los conocimientos que permiten la resolución de problemas de ingeniería de túneles y taludes.

Adquirir los conocimientos necesarios para la modelación continua y discreta aplicadas a la Mecánica de Rocas.

### Contenidos mínimos

Introducción y conceptos básicos. Clasificación de las rocas.

La matriz rocosa. Propiedades físicas. Densidad. Porosidad. Permeabilidad. Velocidad de propagación de ondas. Comportamiento mecánico. Ensayos de laboratorio.

Discontinuidades. Estudio geométrico. Orientación, espaciamiento, persistencia, apertura, rugosidad y relleno. Resistencia al corte de discontinuidades.

El macizo rocoso. Clasificación e índices geomecánicos. Resistencia al corte. Tensiones naturales. Ensayos in situ. Comportamiento tensión-deformación y criterios de rotura. Taludes en roca.

Introducción a la ingeniería de túneles. Sostenimiento de túneles en roca dura. Elementos para sostenimiento. Estabilidad de cuñas en túneles. Diseño de sostenimiento basados en clasificaciones geomecánicas.

Modelado numérico aplicado a Mecánica de Rocas. Modelos de la mecánica del continuo y de la mecánica del discontinuo.

## DINÁMICA DE SUELOS E INGENIERÍA GEOTÉCNICA SÍSMICA

### Objetivos

Se busca que los alumnos alcancen los siguientes objetivos generales: Adquirir los conocimientos necesarios para comprender la respuesta de los suelos bajo acciones cíclicas y dinámicas tanto en el laboratorio como en el terreno.

Adquirir los conocimientos necesarios para comprender los principales problemas de la Ingeniería Geotécnica Sísmica tales como interacción suelo estructura, inestabilidad dinámica de suelos, respuesta sísmica local y estructuras de contención. Resultar competentes en la aplicación de las herramientas que permiten el tratamiento y solución de estos problemas.

### Contenidos mínimos

Respuesta dinámica de suelos.

Mediciones de campo y laboratorio.

Interacción Suelo – Estructura.

Fenómenos de inestabilidad dinámica de suelos.

Respuesta sísmica local y efectos de sitio sísmicos.

Estructuras de contención sujetas a acciones sísmicas.

Anexo I – Ord. – CD N° 008/2021

## **INGENIERÍA DE PRESAS Y TALUDES**

### **Objetivos**

Se busca que los alumnos alcancen los siguientes objetivos generales: Adquirir los conocimientos necesarios el estudio y tratamiento de los problemas de estabilidad de taludes tanto estática como sísmica incluyendo la estimación de desplazamientos.

Conocer las principales tipologías de presas, así como sus componentes y principios de funcionamiento bajo los distintos escenarios propios de su vida útil.

Adquirir los criterios necesarios para la selección de los diferentes tipos de presa como obras principales de un aprovechamiento.

Conocer los criterios de diseño y verificación de los distintos tipos de presa así como los estudios básicos necesarios para llevar a cabo los procesos de diseño.

Adquirir los criterios necesarios para el monitoreo de las presas.

### **Contenidos mínimos**

Estabilidad de taludes en suelos.

Estabilidad de taludes en roca.

Presas de gravedad.

Presas de materiales sueltos.

Presas de enrocados o granulares gruesos con pantalla de hormigón (CFRD).

Presas de arco.

Presas mixtas.

Esquema general de un aprovechamiento.

Estudios previos al diseño y construcción de presas.

Selección del tipo de presa.

Monitoreo de presas.

## **GEOLOGÍA DE TERREMOTOS APLICADA**

### **Objetivos**

Se busca que los alumnos alcancen los siguientes objetivos generales: Adquirir los conocimientos referentes a estructuras geológicas, geomorfología y geo – peligros necesarios.

Adquirir los conceptos que permitan comprender la tectónica de placas y la ocurrencia de terremotos y el ciclo sísmico, así como los elementos necesarios de Geomorfología Tectónica, Paleosismología y Sismotectónica.

Adquirir los conocimientos inherentes a tectónica activa y evidencias asociadas a terremotos. Conocer y entender los efectos geológicos de origen sísmico.

Adquirir competencias referentes a peligro sísmico y riesgo sísmico así como a análisis determinista y probabilista del peligro sísmico y sismicidad inducida.

### **Contenidos mínimos**

Elementos estructurales. Estructuras geológicas (fallas, pliegues). Ambientes montañosos. Geoformas de sistemas montañosos. Sistemas de drenaje y ríos de montañas. Nivel de base, concepto y cambios. Acción climática y tectónica. Frentes montañosos. Clases de actividad tectónica de frentes montañosos. Geomorfología aplicada y ambiental. Geo-peligros en sistemas montañosos.

Anexo I – Ord. – CD N° **008/2021**

Tectónica de Placas y Terremotos. Localización y dimensiones de las placas tectónicas. Tipos de bordes de placas. Tipos de convergencia. Características y distribución geográfica global de las regiones sísmicas y volcánicas activas. Subducción sudamericana. Terremotos. Tipos genéticos y características. Ciclo Sísmico. Modelos de acumulación de deslizamiento en las fallas. Modelos de recurrencia sísmica. Efectos de los terremotos. Geomorfología Tectónica, Paleosismología y Sismotectónica.



Tectónica Activa. Clasificación genética de fallas y estructuras plegadas activas. Definición y aplicación del término Falla Activa según diferentes usos y organizaciones. Terminología. Marco Tectónico. Expresión geomorfológica. Geomorfología tectónica de casos de estudio mundiales y de Argentina. Terremotos históricos y contemporáneos generados por los distintos tipos de fallas. Paleosismología. Evidencias geomorfológicas y estratigráficas de terremotos pasados. Geo-indicadores. Trincheras exploratorias. Reconocimiento (gabinete) de fallas activas mediante la utilización de sensores remotos (fotografías aéreas convencionales, fotografías de bajo ángulo de inclinación solar e imágenes satelitales digitales).

Mega-corrimientos de Zonas de Subducción. Terremotos Interplaca Tsunamigénicos. Ciclo Sísmico. Terremotos históricos y contemporáneos generados por Mega-corrimientos de subducción. Paleosismología. Evidencias geomorfológicas y estratigráficas de mega-terremotos pasados.

Efectos geológicos de origen sísmico. Clasificación (Primarios y Secundarios). Ruptura Superficial de Falla, Levantamiento y Subsistencia Tectónica, Agrietamiento del Terreno, Movimiento Sísmico Amplificado del Terreno, Procesos de Licuefacción, Movimientos de Pendiente, Oleaje Anómalo y Tsunami, Anomalías Hidrogeológicas. Evidencias estratigráficas y geomorfológicas. Investigación aplicada y mitigación. Sensores remotos específicos aplicados en la evaluación de los peligros geológicos asociados a terremotos. Mapas de Peligro. Casos de Estudio característicos.

Peligro Sísmico Vs Riesgo Sísmico. Análisis Determinístico del Peligro Sísmico Vs Análisis Probabilístico del Peligro Sísmico: Conceptos y características generales y específicas.

Sismicidad inducida por terremotos (reservorios, actividad minera, explotación petrolera). Casos de Estudio y criterio internacional aplicado a proyectos ingenieriles.

## **MECÁNICA DE SUELOS NO SATURADOS**

### **Objetivos**

Se busca que los alumnos alcancen los siguientes objetivos generales: Adquirir los principales conceptos propios de los suelos no saturados: fases, propiedades, permeabilidad, tensión superficial, succión, capilaridad, curva de retención.

Adquirir los conocimientos propios de las prácticas de laboratorio y campo para suelos no saturados.

Reunir las competencias referentes al comportamiento físico y mecánico de los suelos no saturados.

Conocer y aplicar los modelos que representen la respuesta de los suelos no saturados y su relación con ensayos de laboratorio.

Anexo I – Ord. – CD N° 008/2021

### **Contenidos mínimos**

Origen de los suelos no saturados. Importancia de los suelos no saturados en Ingeniería Civil. Propiedades del agua y del vapor de agua. Propiedades del aire y del aire disuelto. Permeabilidad en suelos no saturados. Tensión superficial. Succión total, capilar y matricial. Curva de retención.

Técnicas para medir succión (tensiómetros, papel de filtro, psicrómetros, métodos resistivos). Técnicas para imponer succión (placa de succión, técnicas osmóticas, control de humedad relativa). Ensayos de campo y laboratorio.

Comportamiento volumétrico de suelos no saturados. Cambios de succión a tensión constante. Cambios de tensión a succión constante. Resistencia al corte. Variables de tensión en suelos no saturados.

Modelo elasto-plástico para estado isótropo de tensión. Formulación para el caso tridimensional. El modelo BBM (Barcelona Basic Model). Parámetros del modelo. Simulación de ensayos de laboratorio.



## **INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA**

### **Objetivos**

Se busca que los alumnos alcancen los siguientes objetivos generales: Adquirir los conocimientos necesarios para entender el comportamiento mecánico de la interface suelo-estructura. Incorporar los conocimientos necesarios para entender el funcionamiento de distintos tipos de cimentaciones tales como pilotes, plateas, zapatas y casos mixtos.

Adquirir los conocimientos que permitan comprender y resolver problemas con presencia de excavaciones, túneles y refuerzos en suelos, así como la incidencia de la consolidación y la fluencia lenta en suelos.

Adquirir las competencias necesarias para llevar a la práctica el monitoreo de problemas de interacción suelo-estructura y para la aplicación de métodos analíticos y numéricos.

### **Contenidos mínimos**

En la asignatura se analiza el efecto de la interacción suelo-estructura en diferentes tipos de estructuras para cargas estáticas y se discuten otros temas relacionados:

Introducción: Definiciones, ejemplos

Comportamiento mecánico de la interface suelo-estructura

Fundaciones: platea de fundaciones, pilotes bajo carga vertical y horizontal, combinación platea-pilotes, columnas de grava e inclusiones rígidas

Pandeo de pilotes

Excavaciones profundas, anclajes

Túneles

Estabilización de taludes con pilotes

Influencia de la consolidación y fluencia lenta del suelo

Método observacional para el monitoreo de la interacción suelo-estructura

Casos históricos

En el curso se usarán métodos analíticos y métodos numéricos.

## **USO SUSTENTABLE DE RESIDUOS SÓLIDOS Y GEOMATERIALES**

### **Objetivos**

Como propósito general se procura capacitar sobre la gestión y valorización de residuos sólidos a partir de su uso como geomateriales y aplicando estrategias de circularidad.

Anexo I – Ord. – CD N° 008/2021

Más específicamente se busca que el alumno adquiera criterios sobre la gestión sustentable de residuos sólidos y su aprovechamiento como geomateriales; que identifique potencialidades y limitaciones de la circularidad de residuos en obras geotécnicas; y que se capacite en el diseño de vertederos de residuos sólidos desde la perspectiva geotécnica.

### **Contenidos mínimos**



Geotecnia ambiental. Relación con la generación de residuos sólidos. Economía circular. Los Residuos de la Construcción y Demolición como geomateriales. Sistemas de gestión. Potencial de reúso y reciclaje. Aspectos legales. Geotecnia de los rellenos sanitarios. Aspectos a considerar en selección del sitio, diseño, operación, abandono.

Relación de la geotecnia ambiental y la generación de residuos sólidos. Gestión sustentable de recursos y residuos. Economía circular. Los Residuos de la Construcción y Demolición (RCD) como geomateriales. Caracterización de RCD: composición, cantidad y propiedades físico-químicas.

Circularidad en la gestión de RCD. Indicadores. Visión sistémica de la gestión de RCD. Tipologías de RCD reciclables y aprovechables. Tecnologías de reciclaje de los RCD. Maquinarias y equipos. Etapas del proceso de reciclado (generación, tratamiento, transporte y venta). Plantas fijas y móviles. Casos nacionales y/o internacionales del tratamiento de RCD.

Productos y Mercado de los RCD reciclables. Aspectos legales. Consideraciones ambientales en las fases de gestión de los RCD con metodología de Análisis del ciclo de vida (ACV).

Geotecnia de los residuos sólidos urbanos. Caracterización como geomaterial. Composición y propiedades. Comportamiento mecánico: compresibilidad, permeabilidad y resistencia al corte. Modelos para cálculo de asientos. Modelado constitutivo de residuos sólidos urbanos.

Geotecnia de los rellenos sanitarios. Aspectos a considerar en selección del sitio, diseño, operación, abandono. Características geotécnicas de las capas de base, taudes y cobertura.

## **PRESAS DE RELAVES MINEROS**

### **Objetivos**

Se busca que los alumnos alcancen los siguientes objetivos: Adquirir los conocimientos generales referentes a las presas de relaves y otras obras o actividades propias de la minería relacionadas con la Geotecnia como son las escombreras y pilas de lixiviación.

Adquirir los conocimientos necesarios para caracterizar a los materiales intervinientes en estas obras. Adquirir los conocimientos referentes a la disposición o arquitectura de estas obras y su funcionamiento desde el punto de vista geotécnico.

Adquirir las competencias necesarias para el diseño, construcción, operación, monitoreo y cierre de estas obras en todas sus etapas: estudios, diseño, análisis, verificaciones y requisitos tanto con herramientas analíticas como numéricas.

### **Contenidos mínimos**

Introducción. Tipos y disposición de residuos mineros. Presas de relaves, pilas de lixiviación, escombreras y otros. Legislación. Evolución histórica de la minería y los residuos mineros. Drenaje ácido. Técnicas alternativas de disposición de relaves: espesado y filtrado.

Características de los residuos mineros. Características físicas. Propiedades geotécnicas. Propiedades hidrogeológicas. Caracterización e identificación. Composición mineralógica y química.

Anexo I – Ord. – CD N° **008/2021**

Estructura y funcionamiento de las presas de relaves. Fenomenología de presas de relaves, pilas de lixiviación y escombreras. Interacción con la atmósfera y con la fundación. Estructuras sedimentarias. Zonificación.

Proyecto de presas de relaves y otros depósitos de residuos mineros. Estudios básicos: topografía, exploración de la fundación, meteorología, hidrología, amenaza sísmica, propiedades de los relaves, condicionantes de la mina y la planta de procesamiento. Tipologías. Condiciones de operación y su variabilidad.

Cierre. Objetivos y factibilidad del cierre. Selección y proyecto de coberturas. Coberturas store-and-release. Sistema de drenaje. Tratamiento del drenaje ácido.

Estabilidad y seguridad. Modos de falla. Análisis de casos históricos. Estadísticas. Análisis de la estabilidad. Criterios de verificación para diferentes obras. Análisis de deformaciones. Modelos numéricos. Estabilidad química. Monitoreo.



## **GEOFÍSICA APLICADA A LA GEOTECNIA**

### **Objetivos**

Se procura que los alumnos alcancen los siguientes objetivos: Adquirir los conocimientos necesarios para comprender el funcionamiento físico del terreno como medio para la propagación de ondas mecánicas y para la creación / detección de campos electromagnéticos.

Adquirir las competencias necesarias para comprender los alcances y aplicabilidad de los métodos sísmicos tanto de superficie (refracción, reflexión) como de pozos (cross – hole, down – hole). Adquirir las competencias necesarias para comprender los alcances y aplicabilidad de los métodos eléctricos, del perfilaje de pozos y del georadar.

### **Contenidos mínimos**

Métodos Sísmicos

Tipos de ondas de cuerpo: Ondas P. Ondas S. Ondas superficiales

Métodos de superficie: Sísmica de Refracción. Sísmica de Reflexión. Sísmica pasiva. Tomografía Sísmica de Refracción. Control de Vibraciones (Vpp). Aplicaciones en la ingeniería.

Métodos en pozos: Cross-Hole. Down-Hole. Tomografía de Cross-Hole. Aplicaciones en la ingeniería.

Métodos Eléctricos

Métodos de superficie: Calicata Eléctrica. Sondeo Eléctrico Vertical (SEV). Tomografía eléctrica. Cross-Hole Eléctrico. Aplicaciones en la ingeniería.

Perfilaje de pozos: Resistividad. Potencial espontáneo (SP). Gamma Natural. Gamma-Gamma. Aplicaciones en la ingeniería.

GPR (Georadar)

Georadar: Equipos. Frecuencias. Aplicaciones en la ingeniería

## **HIDROGEOLOGÍA**

### **Objetivos**

Se procura que los alumnos alcancen los siguientes objetivos: Adquirir los conceptos básicos de la especialidad de forma de conocer y caracterizar los acuíferos y el agua en el terreno así

Anexo I – Ord. – CD N° 008/2021

como sus tipologías, parámetros y disposición. Adquirir los conocimientos necesarios para entender, caracterizar y medir el movimiento del agua en el terreno en sus distintos regímenes así como los ensayos de campo asociados. Adquirir conocimientos generales de hidroquímica. Desarrollar las competencias que permitan aplicar la Hidrogeología a problemas de Geotecnia.

### **Contenidos mínimos**

Conceptos Básicos de Hidrogeología. Formaciones geológicas como acuíferos. Parámetros hidrogeológicos fundamentales. Tipos de acuíferos. El agua en el suelo. Horizontes. Distribución vertical del agua en el suelo.

Principios generales del movimiento del agua en medios porosos saturados y en medios permeables por fisuración. Régimen Permanente – Régimen Transitorio. Medidas de permeabilidad mediante ensayos en sondeos de pequeño diámetro o catas en el terreno (como ensayo Lefranc, Lugeon, método de Gilg-Gavard)

Hidroquímica. Evolución geoquímica. Técnicas de estudio.

Aplicaciones a la Geotecnia: asentamientos del terreno, drenaje, problemas con los embalses de superficie.



## **CARACTERIZACIÓN DE SITIOS**

### **Objetivos**

Se procura que los alumnos alcancen los siguientes objetivos: Adquirir los conocimientos necesarios para planificar y efectuar las investigaciones geotécnicas asociadas a la caracterización de sitios. Adquirir los conocimientos necesarios para realizar los estudios de campo y gabinete referentes a la caracterización de sitios en especial desde el punto de vista con los peligros naturales y los peligros inducidos por el hombre. Adquirir las competencias necesarias para efectuar estudios de caracterización de sitios de conformidad a las directrices, regulaciones y normativas internacionales referidas a proyectos nucleares, hidroeléctricos y mineros.

### **Contenidos mínimos**

Caracterización de Sitios. Objetivos y alcance de la investigación. Procedimientos y etapas en la investigación de sitios.

Estudios de gabinete y reconocimiento preliminar (fuentes de información, aplicación e interpretación de sensores remotos, planificación de la investigación en el terreno: factores geológicos, factores ambientales y geo-peligros, factores relacionados al tipo y construcción de la instalación).

++++

Exploración del Sitio y mapeo. Métodos Geológicos. Métodos Geofísicos. Investigación subsuperficial.

Peligros Geológicos Naturales (evaluación del peligro potencial, mapas de peligro, zonas de exclusión).

Peligros Geológicos Inducidos por el Hombre. Geoética y peligros naturales.

Criterios internacionales para el emplazamiento de instalaciones nucleares (IAEA, ARPANSA, USNRC). Criterios internacionales para el emplazamiento de proyectos hidroeléctricos y mineros (ICOLD, ANCOLD, NSW Dam Safety Committee).

Casos de Estudio. Caracterización geológica urbana de emplazamientos en regiones desérticas, sísmicas y geológicamente inestables. Criterios internacionales y Regulaciones.

Anexo I – Ord. – CD N° 008/2021

## MÉTODO DEL PUNTO MATERIAL

### Objetivos

Se procura que los alumnos alcancen los siguientes objetivos: Adquirir los conocimientos necesarios para el planteo conceptual y teórico del Método del Punto Material (MPM). Adquirir los conocimientos propios de la formulación del MPM, así como de la discretización e integraciones aplicables a análisis pseudo-estático y de relajación dinámica. Adquirir las competencias necesarias para efectuar análisis hidromecánicos y termo-hidromecánicos incluyendo localización de deformaciones. Adquirir las competencias necesarias para comprender y resolver los problemas numéricos y la implementación computacional del MPM.



### Contenidos mínimos

Formulación de ecuaciones de gobierno. Descripciones lagrangiana y euleriana del movimiento. Conservación de la cantidad de movimiento, masa y energía. Tensión de Cauchy. Incremento o tasa de tensión de Jaumann. Problemas acoplados. Método de residuos ponderados, Galerkin. Formulación mixta. Formulación u-p.

Formulación del MPM. Discretización con el Método del Punto Material. Esquema explícito de integración. Condición CFL. Análisis pseudo-estático, relajación dinámica. Esquemas de integración implícitos. MPM adaptable.

Análisis de problemas hidromecánicos y termo-hidromecánicos. Extensión al análisis hidromecánico (H-M) y termo-hidromecánico (THM). Formulación velocidad de la mezcla-presión y velocidad sólido-velocidad fluido-presión. Estabilidad de presión y bloqueo volumétrico. Localización de deformaciones.

Temas numéricos. Actualización de tensiones y deformaciones. Ruido de cruce de celdas. Variantes del MPM. Método de interpolación generalizada GIMP. Algoritmos de contacto.

Aplicaciones. Implementación del MPM en computador. Organización básica de un programa de MPM. Ejemplos de aplicación.

## DINÁMICA ESTRUCTURAL

### Objetivos

Se procura introducir los conceptos fundamentales del análisis estructural bajo acciones dinámicas y dar una visión general de conceptos avanzados en el área. Generar en los alumnos el conocimiento del comportamiento de las estructuras bajo las acciones dinámicas para una mejor comprensión del fenómeno físico involucrado e interpretación de los códigos modernos teniendo en cuenta que el método de las cargas estáticas equivalentes no puede aplicarse a las estructuras complejas.

Se busca que los alumnos adquieran las competencias necesarias para efectuar e interpretar desarrollos y aplicaciones de dinámica experimental así como resolver problemas propios de sistemas de control activo, semiactivo, híbridos y pasivo.

### Contenidos mínimos

Introducción: Características esenciales de un problema dinámico. Tipos de carga Formulación de las ecuaciones de movimiento.

Sistemas de un grado de libertad: Introducción. Vibraciones libres: Solución de la ecuación de movimiento. Vibraciones no amortiguadas. Vibraciones amortiguadas. Vibraciones forzadas: carga armónica y periódica, carga impulsiva o transitoria, carga dinámica genérica. Análisis en el dominio de la frecuencia.

Anexo I – Ord. – CD N° 008/2021

Sistemas de varios grados de libertad: Introducción. Vibraciones libres no amortiguadas: Modos naturales de vibración. Ortogonalidad e independencia lineal de los modos naturales.

Vibraciones forzadas: Método de superposición modal. Integración directa de las ecuaciones de movimiento.

Sistemas continuos: Introducción. Relación entre sistemas continuos y discretos. Ecuaciones diferenciales de movimiento: caso elemental, deformaciones por corte e inercias rotacionales, viga con amortiguamiento, comparación de teorías de viga.

Vibraciones libres: Caso elemental. Otras condiciones de contorno. Viga con propiedades variables. Viga con deformaciones por corte e inercias rotacionales. Ortogonalidad de los modos naturales de vibración.

Método de superposición modal: Coordenadas normales. Ecuaciones de mov. flexional desacopladas: No amortiguadas. Ecuaciones de mov. flexional desacopladas: Amortiguadas.

Método de la rigidez dinámica: Introducción. Matriz de rigidez dinámica: Flexional. Matriz de rigidez dinámica: Flexoaxial.

Otros métodos: Introducción. Método de matrices de transferencia. Método de variables de estado. Método de elementos finitos.

Dinámica experimental: Introducción. Sensores. Equipo de adquisición de datos. Programas de adquisición de datos. Programa VEE. Proyecto experimental

Conceptos avanzados: Control de vibraciones. Objetivo y definición del problema. Sistemas de control activo, semiactivo e híbridos. Sistemas de control pasivo. Amortiguadores de masa sintonizados. AMS – TMD. Amortiguadores de líquido sintonizados. ALS – TLD.

## **MODELACIÓN CONSTITUTIVA**

### **Objetivos**

Introducir el concepto de ecuación constitutiva. Relacionar la respuesta de los materiales bajo acciones mecánicas con la estructura interna de los mismos. Presentar a los estudiantes modelos de la mecánica para representar el comportamiento de los materiales en la práctica. Introducir la descripción matemática de dichos modelos. Introducir conceptos de mecánica computacional con énfasis en la resolución de problemas.

### **Contenidos mínimos**

Introducción a Ecuaciones Constitutivas: Campos de la Mecánica: desplazamientos; deformaciones; tensiones y fuerzas. Diagrama de Tonti. Ecuaciones Constitutivas: concepto y definición. Problemas lineales y no lineales. Causas de no linealidad: no linealidad geométrica y no linealidad del material. Revisión de conceptos: estados de tensión y deformación. Las ecuaciones constitutivas en relación con la Mecánica Computacional.

Materiales: Tipos de Materiales. Clasificación de acuerdo a su estructura: sólidos cristalinos, aglomerados (hormigón), polímeros, suelos, rocas, compuestos, cerámicos, etc. Materiales frágiles y dúctiles. Características de los materiales más utilizados: metales (aceros, aluminios, etc.), hormigón, suelos, etc. Discusión de comportamiento, rigidez, tensiones límites, formas de rotura, etc. Ensayos característicos. Criterios de falla: Von Mises, Rankine, Mohr-Coulomb, etc. Modelos fenomenológicos.

Elasticidad: Materiales ideales: casos de sólidos y fluidos. Modelo elástico de Cauchy. Parámetros del material:  $E$  y  $\nu$ . Constantes de Lamé  $\lambda$  y  $\mu$ . Módulos volumétrico y de Corte  $K$  y  $G$ . La elasticidad de Cauchy expresada en función de tensiones y deformaciones totales.

Anexo I – Ord. – CD N° 008/2021

Expresión en términos de componentes esféricas y desviadoras. Materiales Hiperelásticos o de Green. Función de Energía Interna. Potencial. Cálculo del tensor de tensiones. Expresión del tensor de elasticidad tangente. Materiales hipoelásticos. Definición. Equivalencias entre los tres modelos.

Inelasticidad: Casos de materiales inelásticos. Problemas No lineales. No linealidad geométrica. No linealidad mecánica o constitutiva. Modelos no lineales: viscoelasticidad; plasticidad; viscoplasticidad; daño, etc. Introducción al caso de inelasticidad. Variables internas. Leyes de evolución. Deformación inelástica. Disipación. Flujo inelástico y Potencial de flujo inelástico. Desigualdad de Clausius-Duhem.

Viscoelasticidad: Modelos reológicos. Viscoelasticidad lineal: modelos de Maxwell y de Kelvin. Modelo Sólido Estándar. Ecuaciones diferenciales. Ensayos de deformación diferida o Creep. Ensayos de relajación. Generalización de modelos. Forma Integral. Extensión al Caso 3D.

Plasticidad: Introducción. Modelo de fricción. Ley de Coulomb. Plasticidad 1D. Teoría incremental de la plasticidad. Caso general: funciones de fluencia y potencial plástico. Deformación plástica. Ley de evolución. Endurecimiento. Variables internas. Condiciones de Carga y Descarga. Postulado de Drucker. Principio de la máxima disipación plástica. Normalidad. Criterios de Von Mises y Tresca para metales; Criterios de Mohr Coulomb y Drucker Prager para geomateriales.

Viscoplasticidad: Materiales viscoplásticos. Modelo reológico: elementos y ecuación diferencial. Fluido de Bingham. Material sólido equivalente. Propuesta de Hohenemser y Prager. Modelo de Perzyna. Concepto de Sobretensión. Interpretación física. Flujo viscoplástico. Casos límite: elasticidad y plasticidad. Modelo de Duvaut Lyons.

Inelasticidad Computacional: Esquemas iterativo incremental. Equilibrio. Convergencia. Integración de la ecuación constitutiva. Determinación del multiplicador plástico. Condición de Consistencia plástica. Modulo tangente elastoplástico continuo. Métodos explícitos e implícitos. Casos de Rigidez tangente y retorno radial. Métodos de Retorno mapeado y retorno radial. Modulo tangente elastoplástico consistente. Resolución de problemas mediante elementos finitos de problemas plásticos. Distintos modelos no lineales (potencias, saturación, etc.). Modelos numéricos sencillos de viscoelasticidad y viscoplasticidad.

## PRÁCTICA DE GEOTECNIA

### Objetivos

Se procura que los alumnos alcancen el objetivo general de integrar los saberes y habilidades adquiridos en la mayor parte de las asignaturas, con miras a su aplicación a un problema (o problemática) definido en un ámbito o espacio de trabajo determinado.

Se busca relacionar la resolución o aplicación del problema (o problemática) con las regulaciones y normativa que le resultan aplicables. Desarrollar la competencia para formular, estructurar y elaborar un informe geotécnico con los contenidos y estilos necesarios y apropiados en la Ingeniería Geotécnica.

### Contenidos mínimos

La Asignatura consiste en una Práctica Profesional desarrollada por el Alumno bajo la supervisión del Profesor. Comprende las cuatro actividades principales siguientes:

Elección del lugar o ámbito en que se desarrollará la Práctica Profesional, el que podrá consistir en una empresa privada, una empresa o ente público o un centro de investigación y transferencia dónde el Alumno pueda desarrollar la Práctica con definido enfoque de aplicación profesional.

Anexo I – Ord. – CD N° 008/2021

Definición de las actividades a desarrollar por el Alumno, la que deberá tener relevancia desde el punto de vista de su formación y revestir interés y aplicabilidad para la entidad en la que se lleve a cabo.

Seguimiento y atención de consultas que el alumno presente al Profesor.

Elaboración por parte del Alumno, de un informe que refiera y describa las actividades desarrolladas con motivo de la Práctica. El informe tendrá el formato y estilo científico y será revisado y aprobado por el Profesor.



## **Anexo VII. Contenidos mínimos de las Asignaturas de la Carrera a Dictar en la TUM**

### **MECÁNICA AVANZADA DE SUELOS Y ROCAS**

#### **Objetivos**

Se busca que los alumnos alcancen los siguientes objetivos generales: Introducir el concepto de modelo constitutivo y su aplicación a los problemas típicos de suelos y rocas, tales como resistencia al corte, deformación y consolidación. Adquirir los conceptos más importantes de la Mecánica de Rocas asociados a la caracterización y desempeño de los macizos rocosos.

#### **Contenidos mínimos**

Comportamiento del suelo y modelos constitutivos: Comportamiento del suelo, modelos constitutivos. Fundamentos del comportamiento en deformación. Consolidación. Fluencia lenta. Deformaciones independientes de la carga. Fundamentos de la resistencia al corte. Mejora del subsuelo. Interacción suelo – estructura.

Mecánica de rocas: Descripción de la masa rocosa. Planos de falla. Deformación y resistencia de la roca. Erosión, sufusión, colmatación, filtrado.

### **INGENIERÍA DE CIMENTACIONES Y CONSTRUCCIÓN EN ROCAS**

#### **Objetivos**

Se busca que los alumnos alcancen los siguientes objetivos generales: Adquirir las competencias propias de la Ingeniería Civil especial tales como: diagramas de presión de tierra, excavaciones, anclajes, muros diafragma, inyecciones, jet grouting, obras subterráneas en roca y cimentaciones en roca. Adquirir los conocimientos propios de los métodos de observación y la tecnología de medición.

#### **Contenidos mínimos**

Ingeniería civil especial: Hipótesis de diagramas de presión de tierra. Recintos de excavación. Anclajes. Muros diafragma. Inyecciones. Jet grouting. Apuntalamientos. Método del elemento cinemático. Tecnología de medición, método de observación.

Construcciones en roca: Construcción de galerías en roca. Seguridad en roca. Cimentaciones en roca.

Anexo I – Ord. – CD N° 008/2021

## CONSTRUIR CON GEOSINTÉTICOS PARA INGENIEROS CIVILES

### Objetivos

Se busca que los alumnos adquieran los conocimientos necesarios para diseñar y construir obras con uso de geosintéticos. Se procura que los alumnos conozcan las características de los productos y sus modos de funcionamiento; los métodos de ensayo y los procesos constructivos.

### Contenidos mínimos

Funciones de los geosintéticos. Productos. Métodos de investigación y prueba. Instalación, procesamiento, tensiones y esfuerzos. Ejemplos de uso.



## DINÁMICA DE SUELOS E INGENIERÍA GEOTECNICA SÍSMICA

### Objetivos

Se busca que los alumnos alcancen los siguientes objetivos generales: Adquirir los conocimientos necesarios para comprender la respuesta de los suelos bajo acciones cíclicas y dinámicas tanto en el laboratorio como en el terreno.

Adquirir los conocimientos necesarios para comprender los principales problemas de la Ingeniería Geotécnica Sísmica tales como interacción suelo estructura, inestabilidad dinámica de suelos, respuesta sísmica local y estabilidad de laderas. Resultar competentes en la aplicación de las herramientas que permiten el tratamiento y solución de estos problemas.

### Contenidos mínimos

Comportamiento del suelo bajo carga cíclica, alterna y dinámica. Comportamiento dinámico vs monótono del suelo. Modelo constitutivo para describir el comportamiento del suelo bajo carga cíclica y dinámica. Evaluación del comportamiento dinámico del suelo mediante ensayos de laboratorio y de campo.

Rigidez dinámica de la cimentación. Propagación de ondas en medios elásticos y elastoplásticos. Peligro sísmico. Análisis de la respuesta del terreno, efectos locales del sitio y diseño de los movimientos del terreno. La compactación del suelo debido a la carga del terremoto. Licuefacción del suelo durante los terremotos. Estabilidad sísmica de las laderas.

Diseño sísmico de cimientos poco profundos, cimientos de pilotes y muros de contención. Aspectos geotécnicos de los códigos sísmicos (DIN 4149, Eurocódigo 8, Códigos Uniformes de Construcción). Fundamentos de interacción dinámica suelo-estructura. Penetración dinámica de pilotes.

## LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

### Objetivos

Se busca que los alumnos alcancen el objetivo de conocer y estar en grado de aplicar las técnicas de ensayo de campo y laboratorio más usuales referentes a suelos; tanto en lo correspondiente a los principios físicos que los sustentan como en los detalles de ejecución dados por la normativa y las mejores prácticas.

### Contenidos mínimos

Ensayos de campo. Determinación de la densidad del suelo en el laboratorio. Ensayo Proctor. Ensayo de permeabilidad al agua. Ensayo de compresión. Ensayo de corte. Ensayo triaxial.

Anexo I – Ord. – CD N° 008/2021

## **OBRAS DE TIERRA Y TERRAPLENES**

### **Objetivos**

Se procura que los alumnos alcancen los siguientes objetivos generales: Adquirir las competencias necesarias para el diseño, la construcción y control de las obras de tierra tales como cortes, terraplenes, presas y capas drenantes.

### **Contenidos mínimos**

Materiales de construcción de terraplenes. Operaciones de construcción. Compactación del suelo. Mejora y estabilización del suelo. Cortes y presas. Rellenos. Capas de drenaje. Ensayos de calidad.



## **LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS PARA INGENIEROS CIVILES**

### **Objetivos**

Se busca que los alumnos alcancen el objetivo de conocer y estar en grado de aplicar las técnicas de ensayo de campo y laboratorio más usuales referentes a rocas; tanto en lo correspondiente a los principios físicos que los sustentan como en los detalles de ejecución dados por la normativa y las mejores prácticas.

### **Contenidos mínimos**

En el curso práctico del laboratorio de mecánica de rocas, los estudiantes realizan experimentos de mecánica de rocas para la clasificación de rocas sólidas de forma independiente y bajo supervisión, evalúan los resultados experimentales y presentan los resultados en una conferencia. Se llevan a cabo experimentos para determinar la fuerza, deformabilidad, abrasividad, densidad y resistencia a la intemperie de las rocas sólidas.

## **MODELOS CONSTITUTIVOS AVANZADOS Y MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS EN GEOTECNIA**

### **Objetivos**

Introducir el concepto de modelo constitutivo. Relacionar la respuesta de los materiales bajo acciones mecánicas con la estructura interna de los mismos. Presentar a los estudiantes modelos de la mecánica para representar el comportamiento de los materiales en la práctica. Introducir la descripción matemática de dichos modelos. Introducir conceptos de mecánica computacional con énfasis en la resolución de problemas con uso de herramientas informáticas.

### **Contenidos mínimos**

Modelos constitutivos geotécnicos (elásticos, plástico ideal, elasticidad no lineal, diferencia entre carga y descarga, pero también modelos constitutivos sofisticados como Cam Clay, Hardening Soil y de la familia de leyes constitutivas hipoplásticas).

Comportamiento del suelo en los llamados ensayos de elementos (representación numérica de ensayos de laboratorio estándar como la compresión edométrica y el corte triaxial).

Programación de ensayos de elementos en Elementos Finitos y problemas geotécnicos estándar (cálculos hidráulicos, asentamiento de cimientos poco profundos, modelos de terraplenes y estructuras de soporte, incluida la construcción de excavación, simulación del comportamiento de carga en anclajes, pilotes y construcción de túneles).

Anexo I – Ord. – CD N° 008/2021

## INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA EN TÚNELES

### Objetivos

Se busca que los alumnos alcancen los siguientes objetivos generales: Adquirir las competencias específicas de la Mecánica de Rocas aplicadas a la construcción de túneles, tales como exploración, mapeo y clasificación de macizos rocosos así como monitoreo y medición.

Adquirir los conocimientos necesarios para el diseño, construcción y seguimiento de túneles, en especial relacionadas con el soporte o sostenimiento y técnicas constructivas y de hormigonado en túneles, en particular en condiciones difíciles tales como asentamientos, presencia de agua.

### Contenidos mínimos

Exploración y mapeo, documentación (especialmente geofísica). Clasificación de la masa de roca. Propiedades de la roca (fisuras, estratificación, abrasión, etc.). Capítulos seleccionados sobre la construcción de túneles en roca. Instrumentos de medición/métodos (especialmente mediciones de fuerza, mediciones de perforaciones).

Tipos de conducción para hormigón proyectado (VKL según DIN, medidas de soporte para el frente del túnel, diseño de la sección transversal). Asentamientos en la construcción de túneles. Construcción del eje. Cálculo de la presión de apoyo en la construcción de túneles mecánicos. Diseño de la sección transversal. Túneles bajo napa freática (conducción de hormigón proyectado: achicamiento, sellado, soporte de aire comprimido, congelamiento, DSV, conducción de escudo: esp. conducción en el suelo; diseño constructivo de túneles en la GW para la condición temporal y permanente). Evaluación e interpretación de los resultados de mediciones.

## MECÁNICA DE SUELOS NO SATURADOS

### Objetivos

Se busca que los alumnos alcancen los siguientes objetivos generales: Adquirir los principales conceptos propios de los suelos no saturados: fases, propiedades, permeabilidad, tensión superficial, succión, capilaridad, curva de retención. Adquirir los conocimientos propios de las prácticas de laboratorio y campo para suelos no saturados, en particular la conductividad hidráulica en suelos no saturados y los modelos que la representan.

Reunir las competencias referentes al comportamiento físico y mecánico de los suelos no saturados, en particular la descripción del flujo, las tensiones efectivas y la resistencia al corte.

### Contenidos mínimos

Introducción a los principios de la mecánica del suelo no saturado. Succión total, matricial y osmótica. Determinación de la relación succión-contenido de agua de los suelos. Determinación de la conductividad hidráulica en estado no saturado. Modelos para la descripción de la relación succión-contenido de agua. Modelos para la descripción de la conductividad hidráulica.

Descripción del flujo de agua en suelos no saturados. Tensiones efectivas en suelos no saturados. Cambio de volumen de suelos no saturados. Resistencia al corte de los suelos no saturados. Importancia de la mecánica de suelos no saturados en el diseño en la ingeniería geotécnica.

Anexo I – Ord. – CD Nº 008/2021

## **APLICACIONES NUMÉRICAS EN INGENIERÍA GEOTÉCNICA**

### **Objetivos**

Se busca que los alumnos alcancen los siguientes objetivos: Adquirir los conocimientos propios de las verificaciones de estabilidad y cálculos de deformaciones en excavaciones, taludes, presas y cimentaciones.

### **Contenidos mínimos**

Cálculos de estabilidad estructural y deformación (Método de las dovelas, FEM) para taludes y muros de contención. Excavaciones. Presas. Cimentaciones.



## **GEOTECNIA AMBIENTAL PARA INGENIEROS CIVILES**

### **Objetivos**

Se procura que los alumnos alcancen los siguientes objetivos: Adquirir los conocimientos necesarios para el diseño y construcción de obras civiles permitiendo la protección de las aguas en distintas circunstancias. Adquirir los conocimientos necesarios para la construcción de vertederos de residuos y la gestión de vertederos abandonados. Adquirir los conocimientos necesarios para gestionar y aplicar los materiales de construcción reciclados.

### **Contenidos mínimos**

Protección de las aguas subterráneas con relación a áreas de transporte. Protección de las aguas subterráneas con relación a las estructuras urbanas. Construcción de vertederos de residuos. Sitios de desechos abandonados. Materiales de construcción reciclados en las obras de tierra. Obras de tierra considerando BBodSchG, WHG, KrW-/AbfG.

## **GEOTECNIA AMBIENTAL II**

### **Objetivos**

Se procura que los alumnos adquieran las competencias que les permitan comprender y aplicar conceptos especiales de Geotecnia Ambiental como son: la eficiencia de los recursos en la Geotecnia; la caracterización de las rocas blandas y suelos orgánicos; la gestión de materiales reciclados; la caracterización de suelos muy blandos, lodos y suspensiones; y los aspectos ambientales propios de la construcción de obras subterráneas.

### **Contenidos mínimos**

La eficiencia de los recursos en la geotecnia: introducción, definición del problema.

Rocas blandas: descripción, prueba de tamiz de tambor, clasificación, agrupación, instalación.

Suelos orgánicos: clasificación, agrupación, idoneidad.

Materiales de construcción reciclables y subproductos industriales: clasificación, agrupación, sensibilidad a las heladas, idoneidad. Mejora mecánica del suelo.

Suelos muy blandos, lodos y suspensiones: procesos de deshidratación. Eficiencia de los recursos en la ingeniería subterránea y la construcción de túneles: características específicas de los procesos.

Anexo I – Ord. – CD N° **008/2021**

## ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN E INGENIERÍA GEODÉSICA EN TÚNELES

### Objetivos

Se procura que los alumnos alcancen los siguientes objetivos: Adquirir las competencias necesarias para su desempeño en el diseño y construcción de túneles revestidos de hormigón. Adquirir los conocimientos referidos al hormigón proyectado tanto en lo referente a su elaboración como a su colocación y desempeño. Adquirir los conocimientos correspondientes a los refuerzos (armaduras u otros) aplicables al hormigón de túneles.

Adquirir las competencias propias del levantamiento (replanteo topográfico) de estructuras subterráneas y sus detalles durante su construcción. Adquirir conocimientos sobre seguridad durante la construcción y especialmente contra incendios. Adquirir conocimientos referentes a los métodos constructivos y su interrelación con la topografía, así como los controles de acabado superficial ("limpieza") en túneles.

### Contenidos mínimos

Estructuras de hormigón en túneles:

Fundamentos de cálculo y diseño para capas de protección de hormigón y revestimientos de túneles: interacción suelo-estructura, modelado y métodos estándar, cálculos de puntales y amarres, modelos FEM, aplicación de métodos no lineales.

Concepto de seguridad.

Hormigón proyectado (shotcrete): fundamentos, diferencias con el hormigón in situ, aplicaciones y fabricación del hormigón proyectado, diseño de revestimientos de hormigón proyectado, revestimientos exteriores de hormigón proyectado, métodos de construcción de hormigón proyectado de una sola capa.

Revestimientos de túneles de hormigón: sistemas de sellado, revestimiento interior no reforzado.

Hormigón reforzado con fibra de acero: características estructurales, aplicaciones en la construcción de túneles, diseño de estructuras de hormigón con fibra de acero.

El levantamiento de la tubería.

Detalles específicos: interfaz entre el túnel / estructura del pozo, accesos, intersecciones, ensanches.

Seguridad contra incendios en la construcción de túneles: protección estructural contra incendios, comportamiento ante el fuego de los revestimientos de hormigón de túneles, pruebas de incendio, clasificación de incendios.

Ingeniería Geodésica en túneles:

Fundamentos de la topografía en la construcción de túneles (sistemas de referencia, teoría y práctica de la topografía en la construcción de túneles, planificación de la topografía en la construcción de túneles).

Orientación en el acceso y durante los avances intermedios, mediciones de giroscopios para controlar el problema de refracción lateral.

Conducción en túnel (medición según el tipo de conducción, medición de la convergencia).

Tareas especiales (corrección de curvas, mediciones de control principal, determinación de la desviación del eje nominal y del perfil nominal, pre prensado de tuberías).

Revestimiento y equipamiento de túneles (dovelas, carros de encofrado, estudios de precisión para la colocación de vías).

Control de la limpieza (cámaras y fotogrametría digital, multi estaciones robóticas, escaneo láser terrestre).

Anexo I – Ord. – CD N° 008/2021

## DISEÑO DE TÚNEL

### Objetivos

Se procura que los alumnos alcancen objetivos específicos relacionados con túneles como son: el conocimiento de los sistemas contra incendios; de los procesos constructivos; del uso de los materiales de excavación; de la logística de construcción; de los procesos licitatorios, etc.

### Contenidos mínimos

Protección contra incendios/diseño de incendios. Construcción de corte y cubierta. Uso geotérmico de los túneles. Reciclaje de material de excavación de túneles. El BIM y el estudio de túneles. Operación del túnel. Sistemas de rescate. Logística de la construcción de túneles. Nuevos avances en la licitación / redacción de contratos.



## EJEMPLOS DE LA INGENIERÍA PRÁCTICA DE TÚNELES

### Objetivos

Se procura que los alumnos alcancen el objetivo de adquirir el conocimiento directo de la actividad asociada a los túneles en todas sus etapas y niveles: desde la investigación, el diseño, la construcción, la gestión y la administración de contratos hasta la operación, monitoreo y resolución de problemas específicos, incluyendo la permanente evolución de la especialidad. Se busca que los alumnos conozcan personalmente las obras y especialmente a los expertos y sus experiencias a fin de consolidar sus competencias en estos campos.

### Contenidos mínimos

Conferencias de expertos de la administración de la construcción, oficinas de ingeniería, empresas de construcción e institutos de investigación. Trabajo/discusión de cuestiones geotécnicas, geológicas, estructurales y de construcción específicas de interés, así como de los avances actuales en la investigación y la práctica de proyectos reales.

## ASPECTOS BÁSICOS DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

### Objetivos

Se procura que los alumnos alcancen los siguientes objetivos: Adquirir los conocimientos necesarios para identificar y caracterizar los distintos tipos de roca y para elaborar modelos geológicos del subsuelo. Conocer los riesgos geológicos y preparar mapas al respecto.

Adquirir los conocimientos necesarios para excavar, construir y realizar inyecciones en roca blanda.

Conocer experiencias concretas referentes obras diversas (túneles, cimientos, presas, vertederos y otros) construidas en roca.

### Contenidos mínimos

Representación de los diferentes tipos de rocas. Descripción de las propiedades ingenieriles-geológicas de diferentes tipos de roca. Presentación de las normas y directrices actuales y de su importancia en la práctica. Elaboración de modelos de ingeniería geológica del subsuelo.

Elaboración de mapas de riesgo geológico en ingeniería. Guía para evaluar riesgos en la construcción en roca.



Problemas geológicos de ingeniería en la construcción mecánica de túneles en roca blanda.  
Problemas geológicos de ingeniería en la construcción de los recintos de excavación.  
Problemas geológicos de ingeniería durante las inyecciones en la roca blanda.  
Estudios de casos prácticos (túneles, construcción de presas, construcción de vertederos, recintos de fosas de excavación, desecación, cimientos).

**ANEXO I - ORDENANZA – CD N° 008/2021**