

PROGRAMA DE CURSO

INGENIERÍA GEOTÉCNICA DE DEPÓSITOS DE RELAVES

A. Antecedentes generales del curso:

Departamento	Ingeniería Civil					
Nombre del curso	Ingeniería Geotécnica de Depósitos de Relaves	Código	CI7418	Créditos	6	
Nombre del curso en inglés	<i>Geotechnical Engineering of tailings storage facilities</i>					
Horas semanales	Docencia	3	Auxiliares	1,5	Trabajo personal	5,5
Carácter del curso	Obligatorio			Electivo	X	
Requisitos	CI5121: Diseño Geotécnico o CI5401: Fundaciones o Autorización					

B. Propósito del curso:

El curso entrega herramientas para poder participar en estudios y análisis geotécnicos desarrollados en etapas de diseño, construcción y operación de depósitos de relaves de la industria minera. El estudiante desarrolla análisis de filtraciones, de estabilidad física de presas y análisis de riesgo simplificados, utilizando métodos empíricos, analíticos y numéricos, además de considerar normativa y guías nacionales e internacionales. El desarrollo de estos análisis le permitirá trabajar en el desarrollo de ingenierías conceptual, básica y de detalle, bajo la supervisión de un experto o un equipo de trabajo, en proyectos referentes al manejo de depósitos de relaves.

El curso tributa a las siguientes competencias específicas (CE) y genéricas (CG):

CE2: Interpretar y evaluar los métodos, herramientas y tecnologías utilizadas y sus resultados, siendo estas computacionales, experimentales, numéricas o analíticas, en la resolución de problemas asociados a obras y sistemas de ingeniería civil.

CE4: Identificar e incorporar los elementos de incertidumbre inherentes a todo proyecto de ingeniería civil, en la concepción, diseño, ejecución y administración de los proyectos.

CEE6: Concebir, analizar, diseñar y construir infraestructura resiliente y sustentable, utilizando materiales tradicionales y nuevos.

CEE9: Desarrollar las distintas etapas de un proyecto de infraestructura, considerando factores de amenaza, riesgo y desempeño, utilizando distintas tecnologías de construcción.

CG1: Comunicación académica y profesional

Comunicar en español de forma estratégica, clara y eficaz, tanto en modalidad oral como escrita, puntos de vista, propuestas de proyectos y resultados de investigación fundamentados, en situaciones de comunicación compleja, en ambientes sociales, académicos y profesionales.

CG2: Comunicación en inglés

Leer y escuchar de manera comprensiva en inglés variados tipos de textos e informaciones sobre temas concretos o abstractos, comunicando experiencias y opiniones, adecuándose a diferentes contextos de acuerdo a las características de la audiencia.

C. Resultados de aprendizaje:

Competencias específicas	Resultados de aprendizaje
CE2	RA1: Determina parámetros físicos y mecánicos de los materiales que se encuentran en depósitos de relaves, determinando los ensayos de laboratorio y terreno a realizar según el tipo de material y su variabilidad.
CEE6	RA2: Diseña presas de relaves, considerando su estabilidad física frente a solicitaciones estáticas y sísmicas, con métodos numéricos, tales como el método de equilibrio límite y el método de los elementos finitos.
CE4	RA3: Evalúa riesgos relacionados con aspectos geotécnicos en etapas de diseño, construcción, operación y cierre de depósitos de relaves.
CEE9	RA4: Evalúa la estabilidad física de una presa de relaves a través de distintos tipos de estudios y análisis durante las etapas de diseño, construcción, operación y cierre.
Competencias genéricas	Resultados de aprendizaje
CG1	RA5: Elabora reportes concisos y claros sobre resultados de tareas desarrolladas, con el fin de explicar con claridad decisiones y aspectos técnicos de los cálculos realizados sobre análisis de filtraciones, estabilidad física de presas y análisis de riesgo simplificados.
CG1–CG2	RA6: Lee artículos científicos, tanto en inglés como español, sobre la evaluación de estabilidad física de presas de relaves para complementar su formación con nuevos conocimientos de su quehacer profesional.

D. Unidades temáticas:

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
1	RA4, RA5, RA6	Introducción a los sistemas de almacenamiento de relaves	3 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
1.1. Tipos de desechos mineros 1.2. Producción de relave y su disposición segura 1.3. Contexto internacional y nacional sobre el manejo de depósitos de relaves 1.4. Aspectos normativos y su evolución 1.5. Ciclo de vida de un depósito de relaves 1.6. Mecanismos de falla y ejemplos de fallas 1.7. Estudios especiales: peligros geológicos y sísmicos, hidrogeología, hidrología, geoquímica		El estudiante: <ol style="list-style-type: none"> 1. Compara los diferentes tipos de desechos mineros y sus formas de disposición para determinar los aspectos geotécnicos que controlan su almacenamiento seguro. 2. Organiza las normas y guías de buenas prácticas aplicables al desarrollo de estudios geotécnicos en depósitos de relaves. 3. Identifica los principales mecanismos de falla de depósitos de relaves a lo largo de su ciclo de vida y establece los parámetros críticos involucrados y los análisis geotécnicos requeridos para evitarlos. 4. Examina los estudios especiales requeridos para la construcción de depósitos de relaves y su relación con los estudios geotécnicos. 	
Bibliografía de la unidad		Fourie et al. (2022); The Mining Association of Canada (2021); Vick (1990)	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
2	RA1, RA2, RA4, RA5, RA6	El agua en un depósito de relaves	2 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
2.1. El agua en el proceso de transporte y depositación de relaves 2.2. Sistemas de captación, impermeabilización y recuperación de agua 2.3. Determinación de permeabilidad 2.4. Redes de flujo 2.5. Diseño y construcción de drenes y filtros 2.6. Monitoreo de presiones de poro y flujo		El estudiante: <ol style="list-style-type: none"> 1. Calcula redes de flujo al interior de una presa de relaves, considerando las condiciones de borde relacionadas con sistemas de drenaje e impermeabilización. 2. Evalúa la permeabilidad de materiales granulares de la presa y su suelo de fundación utilizando métodos de terreno y laboratorio. 3. Diseña secciones transversales de drenes utilizados en presas de relaves. 4. Analiza métodos de monitoreo de niveles freáticos y presiones de poros al interior de una presa de relaves. 	
Bibliografía de la unidad		Blight (2010); International Commission on Large Dams (1994); Federal Emergency Management Agency (2011)	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
3	RA1, RA2, RA4, RA5, RA6	Estabilidad física de presas de relaves	6 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
3.1. Caracterización geotécnica de materiales del muro y suelo de fundación 3.2. Aspectos normativos relevantes para estabilidad física 3.3. Elementos de peligro sísmico 3.4. Estabilidad de taludes estático y pseudo estático con el método de equilibrio límite (MEL) 3.5. Análisis dinámico de deformaciones 3.6. Métodos simplificados de deformaciones 3.7. Licuación: resistencia residual, potencial de licuación 3.8. Monitoreo de parámetros críticos para la estabilidad física		El estudiante: <ol style="list-style-type: none"> 1. Evalúa las propiedades de resistencia al corte y rigidez de los materiales de una presa y su suelo de fundación con métodos de terreno y laboratorio. 2. Determina los aspectos normativos que deben satisfacer los análisis de estabilidad física de presas de relaves. 3. Determina la estabilidad estática y pseudo-estática de una presa de relaves utilizando el MEL. 4. Evalúa las deformaciones sísmicas de una presa de relaves utilizando métodos numéricos y modelos simplificados de deformaciones. 5. Analiza la ocurrencia y el impacto de la licuación en las deformaciones de una presa de relaves. 6. Analiza métodos de monitoreo de parámetros críticos que controlan la estabilidad física de presas de relaves. 	
Bibliografía de la unidad		Global Tailings Review (2020); International Commission on Large Dams (2016); Ministerio de Minería (2007); Ministerio de Obras Públicas (2015)	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
4	RA3, RA5, RA6	Elementos de riesgo y nuevas tendencias	4 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
4.1. Análisis de riesgo en depósitos de relaves 4.2. Elementos y controles críticos basados en riesgo 4.3. Análisis de rompimiento de presas 4.4. Tendencias en diseño basado en desempeño y riesgo 4.5. Elementos de gobernanza 4.6. Nuevas tendencias en monitoreo, operación y utilización de relaves		El estudiante: <ol style="list-style-type: none"> 1. Examina distintas metodologías de evaluación de riesgo aplicados a depósitos de relaves. 2. Relaciona los resultados de análisis de riesgo con la gobernanza y los controles críticos que se deben realizar durante la operación 3. Evalúa conceptualmente metodologías de diseño basado en desempeño y riesgo aplicados a depósitos de relaves. 4. Examina estudios de rompimiento de presas realizados según las mejores prácticas de la industria. 5. Analiza el impacto de las distintas tendencias de monitoreo, operación y reutilización de relaves en la seguridad de presas y control de riesgo. 	
Bibliografía de la unidad		Oboni and Oboni (2020); Intenational Council on Mining & Metals (2021); Zhang et al. (2016)	

E. Estrategias de enseñanza - aprendizaje:

El curso considera las siguientes estrategias:

- Clases expositivas.
- Talleres de uso de software.
- Análisis de casos.

F. Estrategias de evaluación:

El curso considera las siguientes instancias de evaluación:

Tipo de evaluación	Resultado de aprendizaje asociado a la evaluación
1 proyecto	Evalúan RA1, RA2, RA3, RA4, RA5 y RA6
5 Tareas	Evalúan RA1, RA2, RA3, RA4, RA5 y RA6
Examen	Evalúa los resultados de aprendizaje RA1, RA2, RA3 y RA4

G. Recursos bibliográficos:

Bibliografía obligatoria:

- Blight, G., 2010. Geotechnical Engineering for Mine Waste Storage Facilities. Taylor & Francis Group, London, UK.
- Federal Emergency Management Agency, 2011. Filters for Embankment Dams: Best Practices for Design and Construction, October.
- Fourie, A., Verdugo, R., Bjelkevik, A., Torres-Cruz, L.A., Znidarcic, D., 2022. Geotechnics of mine tailings: A 2022 State of the Art, in: Jaksa, Rahman (Eds.), Proceedings of the 20th ICSMGE. Sydney, Australia, pp. 121–183.
- Global Tailings Review, 2020. Global Industry Standard on Tailings Management.
- International Council on Mining & Metals, 2021. Tailings Management: Good Practice Guide. <https://doi.org/10.4324/9781003106371>
- International Commission on Large Dams, 2016. Selecting seismic parameters for large dams.
- International Commission on Large Dams, 1994. Tailings dams design of drainage.
- Ministerio de Minería, 2007. Decreto Supremo N° 248: Reglamento para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de los Depósitos de Relaves, Diario Oficial. Chile.
- Ministerio de Obras Públicas, 2015. Decreto 50. Aprueba reglamento a que se refiere el artículo 295 inciso 2°, del Código de Aguas, estableciendo las condiciones técnicas que deberán cumplirse en el proyecto, construcción y operación de las obras hidráulicas identificadas en el artículo 294.
- Oboni, F., Oboni, C., 2020. Tailings Dam Management for the Twenty-First Century, Tailings Dam Management for the Twenty-First Century. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-19447-5>
- The Mining Association of Canada, 2021. A Guide to the Management of Tailings Facilities - Version 3.2.
- Vick, S.G., 1990. Planning, design, and analysis of tailings dams. BiTech Publishers Ltd, Vancouver, B.C., Canada.

Zhang, L., Peng, M., Chang, D., Xu, Y., 2016. Dam Failure Mechanisms and Risk Assessment. John Wiley & Sons.

H. Datos generales sobre elaboración y vigencia del programa de curso:

Vigencia desde:	Primavera 2022
Elaborado por:	César Pastén Puchi
Validado por:	CTD Civil
Revisado por:	CTD Civil