

## PROGRAMA DE CURSO

### MODELAMIENTO NUMÉRICO EN MECÁNICA DE ROCAS

#### A. Antecedentes generales del curso:

Departamento	Ingeniería Civil de Minas					
Nombre del curso	Modelamiento numérico en mecánica de rocas	Código	MI6061	Créditos	6	
Nombre del curso en inglés	<i>Numerical Modeling in Rock Mechanics</i>					
Horas semanales	Docencia	3	Auxiliares	2	Trabajo personal	5
Carácter del curso	Electivo  Obligatorio con opción para carrera de Ingeniería Civil de Minas V3.  Electivo para carrera de Ingeniería Civil de Minas V5				X	
Requisitos	MI4070: Fundamentos de Tecnología Minera					

#### B. Propósito del curso:

El curso tiene por finalidad que los y las estudiantes reconozcan e identifiquen tipos de métodos numéricos utilizados en la mecánica de rocas, considerando sus ventajas y desventajas.

Asimismo, identifican y cuantifican los parámetros relevantes a incorporar en la modelación numérica para satisfacer las condiciones del diseño.

Por otra parte, construyen modelos numéricos mediante la utilización de software especializado para representar una geometría y analizan los resultados de un modelo numérico en función de un proceso de retro análisis o en comparación con métodos empíricos de estabilidad para calcular la confiabilidad del diseño.

El curso tributa a las siguientes competencias del perfil de egreso:

CE1: Analizar datos y elaborar modelos para la caracterización geominero-metalúrgica de materiales, recursos minerales y procesos.

CE2: Concebir, diseñar, optimizar e implementar soluciones científico-tecnológicas en explotación de yacimientos, procesamiento de minerales o metalurgia extractiva.



### C. Resultados de aprendizaje:

Competencias específicas	Resultados de aprendizaje
CE1	RA1: Diferencia los tipos de métodos numéricos utilizados en la mecánica de rocas, junto con sus ventajas y desventajas.
CE2	RA2: Identifica y cuantifica los parámetros relevantes a incorporar en la modelación numérica para satisfacer las condiciones del diseño.
CE2	RA3: Construye modelos numéricos mediante la utilización de software especializado para representar una geometría.
CE1, CE2	RA4: Analiza los resultados de una modelación numérica, en función de un proceso de retro análisis o en comparación con métodos empíricos de estabilidad para calcular la confiabilidad del diseño.

### D. Unidades temáticas:

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
1	RA1, RA2	El rol de los métodos numéricos en la mecánica de rocas	1 semana
<b>Contenidos</b>		<b>Indicador de logro</b>	
1.1. Metodología para la modelación numérica. 1.2. Roca como material ingenieril (revisión). 1.3. Caracterización del macizo rocoso para la modelación numérica. 1.4. Aceptabilidad del diseño.		El/la estudiante: 1. Reconoce la relevancia, aplicación y limitaciones de los métodos numéricos para aplicaciones en la mecánica de rocas 2. Identifica y selecciona el método de análisis adecuado para resolver un problema de mecánica de rocas planteado. 3. Identifica los parámetros relevantes para poder construir un modelo numérico específico.	
<b>Bibliografía de la unidad</b>		[1,14,16]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
2	RA2	Tipos de métodos numéricos en la mecánica de rocas	2,0 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
2.1. Tipos de métodos numéricos utilizados en la mecánica de rocas. Ventajas-Desventajas. 2.2. Métodos continuos. diferencias finitas, elementos finitos, elementos de borde. 2.3. Métodos discontinuos. Elementos discretos, elementos distintos.		El/la estudiante:  1. Diferencia los diferentes tipos de métodos numéricos utilizados en la mecánica de rocas, reconociendo sus ventajas-desventajas y limitaciones.	
Bibliografía de la unidad		[1,7, 11, 12, 13]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
3	RA1, RA3, RA4	Modelos constitutivos y criterios de falla	2 semanas
Contenidos		Indicador de Logro	
3.1. Comportamiento de roca intacta en un estado de esfuerzos 3D. 3.2. Tipos de modelos constitutivos utilizados en la mecánica de rocas. 3.3. Revisión y comparación de criterios de falla empíricos. 3.4. Interpretación de modelos numéricos lineales y no lineales.		El/la estudiante:  1. Identifica la teoría y aplicación de los distintos tipos de modelos utilizados para el modelamiento numérico en la mecánica de rocas. 2. Desarrolla una visión integral del comportamiento de roca intacta para el modelamiento numérico en un estado de esfuerzos tridimensional. 3. Interpreta los resultados de modelos numéricos para establecer el grado de estabilidad de un diseño planteado.	
Bibliografía de la unidad		[3,4,10, 15]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
4	RA3, RA4	Modelación numérica de excavaciones subterráneas	4 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
4.1. Métodos numéricos para el análisis de excavaciones subterráneas. Ventajas-Desventajas. 4.2. Distribución de esfuerzos alrededor de excavaciones. 4.3. Trayectoria de tensiones. Umbrales de agrietamiento y daño. 4.4. Principios de diseño de soporte. 4.5. Interacción roca-soporte. 4.6. Modelación de tendones. 4.7. Modelación de liners. 4.8. Túneles en roca blanda.		El/la estudiante: 1. Aplica los métodos numéricos al análisis y diseño de excavaciones subterráneas.	
Bibliografía de la unidad		[1,6]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
5	RA3, RA4	Análisis de estabilidad de taludes mediante técnicas numéricas	1.5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
5.1. Métodos convencionales de análisis de estabilidad de taludes. 5.2. Métodos numéricos para la estabilidad de taludes. Ventajas-Desventajas. 5.3. Factor de seguridad versus factor de reducción.		El/la estudiante: 1. Aplica los métodos numéricos al análisis y diseño de taludes mineros.	
Bibliografía de la unidad		[1,2, 18]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
6	RA3, RA4	Aplicaciones	4,5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
6.1. Modelamiento e impacto de la secuencia de extracción. 6.2. Estimación de dilución mediante modelos numéricos. 6.3. Modelación de contactos y discontinuidades. 6.4. Utilización de modelos empíricos de resistencia de macizo rocoso como método de calibración. 6.5. Back-análisis y confiabilidad de un modelo numérico.		El/la estudiante:  1. Identifica los alcances y limitaciones de aplicaciones prácticas de los métodos numéricos en la mecánica de roca e ingeniería de minas.  2. Usa modelos empíricos de resistencia de macizo rocoso como método de calibración.	
Bibliografía de la unidad		[5, 8, 9, 17]	

#### E. Estrategias de enseñanza:

La estrategia metodológica es activo-participativa, consistente en:

- Clases expositivas.
- Clases auxiliares.
- Tareas.

#### F. Estrategias de evaluación:

Se realizarán actividades en clase auxiliar (resolución de ejercicios, presentaciones, visitas técnicas, y tutoriales dirigidos al uso y a la aplicación de herramientas de análisis numérico), controles escritos y un examen.

La nota final se calculará según la ponderación definida por los docentes del curso.

## G. Recursos bibliográficos:

### Bibliografía obligatoria:

- [1] Brady, B. H. G. and Brown, E. T. (2004). Rock Mechanics for Underground Mining, Third Edition, Springer.
- [2] Coggan, J.S., Stead, D. and Eyre, J.M. (1998). Evaluation of Techniques for Quarry Slope Stability Assessment. Trans. Inst. Min. Met. (Sec. B), 107, B139-B147.
- [3] Colmenares, L.B. Rock Strength Under True Triaxial, Seismotectonics of Northern South America and Geomechanics and Coal Bed Methane Production in the Powder River Basin, PhD Thesis, Stanford University.
- [4] Edelbro, C. (2004). Strength, fallouts and numerical modelling of hard rock masses. PhD Thesis, Lulea University of Technology
- [5] Hening, J.G. and Mitri, H.S. (2007). Numerical modelling of ore dilution in blasthole stoping. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 44, 5, 692-703.
- [6] Hoek, E., Grabinsky, M.W., and Diederichs, M.S. (1991). Numerical Modelling for Underground Excavation Design. Trans. Inst. Min. Met. (Sec. A), 100, A22-A30.
- [7] Martin, C.D., Kaiser, P.K. and McCreath, D.R. (1998). Hoek-Brown parameters for predicting the depth of brittle failure around tunnels. Canadian Geotechnical Journal, 36, 136-151.
- [8] Martin, C.D., Tannant, D.D., Yazici, S. and Kaiser, P.K. (1999). Stress path and instability around mine openings. In 9th ISRM Congress, Paris. 25-28 August 1999.
- [9] Mogi, K. (2007). Experimental Rock Mechanics. Geomechanics Research Series Vol. 3. Taylor & Francis.
- [10] Potts, D. and Axelsson, K. (1999). Finite element analysis in geotechnical engineering: theory. Thomas Telford.
- [11] Potts, D. and Axelsson, K. (2001). Finite element analysis in geotechnical engineering: application. Thomas Telford.
- [12] Potts, D. and Axelsson, K. (2002). Guidelines for the use of advanced numerical analysis. Thomas Telford.
- [13] Practical Rock Engineering Book by E. Hoek. Chapter 2. <http://www.rocscience.com/hoek/PracticalRockEngineering.asp>.
- [14] Sheorey, P.R. (1997). Empirical Rock Failure Criteria. A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield.
- [15] Starfield, A.M. and Cundall, P.A. (1988). Towards a Methodology for Rock Mechanics Modelling. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abst., 25, 3, 99-106.
- [16] Wiles, T.D. (2006). Reliability of numerical modelling predictions. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 43, 454-472.
- [17] Wyllie, D.C. and Mah, C.W. (2004). Rock slope engineering. Civil and Mining. 4th Edition. Taylor & Francis.

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

Vigencia desde:	Otoño, 2023
Elaborado por:	Javier Vallejos
Validado por:	Raúl Castro
Revisado por:	Área de Desarrollo Docente (ADD)