

## PROGRAMA DE CURSO

Código	Nombre			
MI 6071	Tronadura y Excavación			
Nombre en Inglés				
Blasting and Excavation				
SCT	Unidades Docentes	SCT	Unidades Docentes	SCT
6	10	6	10	6
Requisitos			Carácter del Curso	
MI 5071 Sistemas Mineros			Electivo para: Carrera de Ingeniero Civil de Minas	
Competencias a las que tributa el curso				
<p><b>Competencias Específicas:</b></p> <p>CE2: Concebir, diseñar, optimizar e implementar soluciones científico-tecnológicas en explotación de yacimientos, procesamiento de minerales o metalurgia extractiva.</p> <p>CE3: Diseñar operaciones y proyectos mineros, aplicando conocimientos de ingeniería y gestión.</p> <p>CE5: Evaluar y/u optimizar técnica y económicamente recursos, procesos y proyectos de ingeniería en el ámbito de la industria minera, incorporando las dimensiones sociales, ambientales e interpersonales.</p> <p><b>Competencias Genéricas</b></p> <p>CG1: Comunicar ideas y resultados de trabajos profesionales o de investigación, en forma escrita y oral, tanto en español como en inglés.</p> <p>CG2: Trabajar en equipos multidisciplinarios, asumiendo el liderazgo en las materias inherentes a su profesión en forma crítica y autocrítica.</p> <p>CG3: Demostrar compromiso ético en su vida profesional, basado en la probidad, responsabilidad, solidaridad, respeto y tolerancia a las personas, al entorno socio-cultural y al medio ambiente.</p> <p>CG5: Gestionar su autoaprendizaje en el desarrollo del conocimiento de su profesión, adaptándose a los cambios del entorno.</p>				

### Propósito del curso

El curso MI 6071, Tronadura y Excavación, tiene como propósito que el estudiante analice de los diferentes métodos mineros de explotación para luego aplicar conceptos teóricos, tecnológicos, normativos y éticos, asociados a las operaciones unitarias, a fin de manejar conceptos y herramientas que permitan cumplir con los objetivos relacionados con perforación y tronadura.

Asimismo, propone soluciones de diseño, considerando los fundamentos de aplicación del arranque continuo, a fin de aportar a un proceso de evaluación y mejora de perforación y tronadura en rajo abierto y subterráneo. El estudiante, además, desarrollará una visión analítica y reflexiva que le permita sustentar el uso de nuevos sistemas de desarrollo de labores subterráneas y de explotación minera automatizada.

La estrategia metodológica a utilizar es activo – participativa, en la cual el docente es un mediador del proceso de aprendizaje, quien propone ejemplos, resuelve dudas, corrige lo que permite que el estudiante trabaje en actividades que requieren de un trabajo presencial y autónomo respecto de temas de tronadura y excavación.

### Resultados de Aprendizaje

**CE2–RA1: Analiza los diferentes métodos mineros de explotación, considerando conceptos del quiebre y arranque de rocas, a fin de comprender cómo se aplican estos métodos en condiciones reales.**

**CE5–CG2–CG3–RA2: Aplica conceptos teóricos, tecnológicos, normativos y éticos, asociados a las operaciones unitarias, caracterizando las rocas, a fin de manejar conceptos y herramientas que permitan cumplir con objetivos de corto y largo plazo relacionados con perforación y tronadura.**

**CE5–CG1–CG2–RA3: Diseña tronaduras de desarrollo, producción y remate de banco, según requerimientos de fragmentación y efectos al macizo rocoso, en subterránea y rajo abierto, a fin de presentar una simulación técnica para predecir resultados, que explica técnicamente.**

**CE3–CG1–RA4: Propone soluciones de diseño, considerando los fundamentos de aplicación del arranque continuo (mecanizado), comparando ventajas y limitaciones respecto del uso de explosivos, a fin de plantear una propuesta que explica con lenguaje técnico.**

**CE3–CG1–RA5: Evalúa una propuesta sobre diseño y operación en minería de *caving*, considerando condiciones del macizo, factores geométricos, geotécnicos, tecnológicos, a fin de justificar, con lenguaje técnico, la aplicación óptima del método, en un contexto dado.**

Metodología Docente	Evaluación General
<p>La estrategia metodológica es activo- participativa:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Clases expositivas con estructura de INICIO – DESARROLLO – CIERRE</li> <li>- Clases auxiliares</li> <li>- Lecturas</li> </ul>	<p>La evaluación es de proceso:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Controles</li> <li>• Actividades complementarias (presentaciones, tareas, lecturas)</li> <li>• Un examen</li> </ul> <p>La nota final del curso se calculará según la</p>

- Presentaciones orales	ponderación definida por los docentes.
-------------------------	--

### Unidades Temáticas

Número	RA al que tributa	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
1	RA1	Procesos Mineros	2
Contenidos		Indicador de Logro	Referencias a la Bibliografía
1.1.Introducción a los procesos de arranque y de fragmentación en minería.  1.2.Procesos de carguío de minerales.  1.3.Procesos de transporte de minerales.  1.4.Beneficios de los procesos integrados en minería: “de tronadura al transporte” y “de la mina a la planta”.  1.5.Desarrollo rápido de minas subterráneas.		El estudiante: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identifica aspectos generales acerca de los sistemas y procesos que caracterizan el arranque y fragmentación en minería, considerando las condiciones reales en las que produce este tipo de labor.</li> <li>2. Explica los procesos de arranque y fragmentación considerando el hecho de que ambos forman parte de un sistema de explotación.</li> <li>3. Analiza los procesos integrados en minería: “de tronadura al transporte” y “de la mina a la planta”, considerando sus beneficios.</li> </ol>	[Hartman], 2002

Número	RA al que tributa	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
2	RA2-RA3	Preparación, fragmentación y arranque de rocas por medio de explosivos	7
Contenidos		Indicador de logro	Referencias a la Bibliografía
<p>1.1. Caracterización del macizo rocoso para perforación y tronadura con explosivos.</p> <p>1.2. Fundamentos de perforación de pozos de tronadura.</p> <p>1.3. Gestión operativa y riesgos en perforación de pozos.</p> <p>1.4. Fundamentos y tipos de explosivos.</p> <p>1.5. Fundamentos y tipos de sistemas de iniciación.</p> <p>1.6. Proceso de detonación de pozos y mallas de tronadura.</p> <p>1.7. Diseño de tronaduras de contorno, producción y remate de banco.</p> <p>1.8. Gestión operativa y riesgos en tronadura.</p> <p>1.9. Métodos de medición y predicción de fragmentación por tronadura.</p> <p>1.10. Vibraciones y criterios de daño.</p> <p>1.11. Propiedades de las frentes de carguío en</p>		<p>El estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Explica las etapas y sub-etapas del proceso de mejoramiento continuo de perforación y tronadura en la mina.</li> <li>Define distintos diseños de perforación y tronadura, en función de las características del macizo rocoso.</li> <li>Distingue métodos de perforación, según aplicabilidad de cada uno de estos.</li> <li>Identifica las variables internas y externas de perforación rotativa, a partir de características de rocas y aspectos operacionales de la perforación misma.</li> <li>Distingue las distintas etapas del proceso de detonación, las que explica, considerando la interacción que se produce con el macizo rocoso.</li> <li>Utiliza métodos de predicción de fragmentación, identificándolos y aplicándolos en ejemplos concretos.</li> <li>Utiliza algoritmos simples o software especializado para el diseño y simulación de tronaduras.</li> <li>Interpreta diagramas de disparo para minería a rajo abierto y subterráneo, según criterios técnicos y económicos.</li> <li>Analiza aspectos legales de la tronadura, revisando la normativa, la que aplica en ejemplos prácticos.</li> </ol>	<p>[Chacón]</p> <p>[Hartman and Mutmansky]</p> <p>[Holmberg, cap. 72 ]</p> <p>[Hustrulid]</p> <p>[Hustrulid and Bullock]</p> <p>[JKMRC]</p> <p>[Persson]</p> <p>[Salinas]</p>

<p>minería a cielo abierto: control de leyes, dilución y carguío.</p> <p>1.12. Aspectos ambientales de la tronadura.</p> <p>1.13. Aspectos legales de la tronadura.</p> <p>1.14. Desarrollo y ciclos de construcción túneles chimeneas y piques por medio de tronadura.</p>		
---	--	--

Número	RA al que tributa	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
3	RA3–RA4	Fragmentación, arranque de rocas por medios mecánicos y Métodos de Excavación Vertical	4
Contenidos		Indicador de Logro	Referencias a la Bibliografía
<p>3.1. Excavación Mecanizada de Túneles con Tecnología TBM.</p> <p>3.1.1. Introducción.</p> <p>3.1.2. Principios básicos de la excavación mecanizada.</p> <p>3.1.3. Tipos de máquinas Tuneleras (TBM).</p> <p>3.1.4. Áreas de aplicación.</p> <p>3.1.5. Aspectos básicos de la Geología.</p> <p>3.1.6. Elección del tipo de</p>		<p>El estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Identifica los fundamentos de la excavación mecanizada, considerando los tipos de máquinas TBM así como sus áreas de aplicación.</li> <li>Selecciona qué tipo de TBM usar en los diferentes tipos de geología, considerando los aspectos geológicos que deben tenerse en cuenta respecto del diseño de las máquinas TBM.</li> <li>Determina las diferencias entre máquinas, distinguiendo entre las de uso de excavación en roca y las de uso de suelo.</li> <li>Explica técnicamente los principios de corte de la roca en el método de excavación mecanizada con TBM, considerando los aspectos geotécnicos que influyen en el desgaste de los cortadores y elementos de</li> </ol>	<p>[Hartman] [Persson]</p>

<p>TBM.</p> <p>3.1.7. TBM para Roca.</p> <p>3.1.8. TBM para Suelo.</p> <p>3.1.9. Back Up y Logística.</p> <p>3.2. Revestimientos.</p> <p>3.2.1. Tipos revestimiento.</p> <p>3.2.2. Revestimiento In situ.</p> <p>3.2.3. Dovelas prefabricadas.</p> <p>3.2.4. Cortadores y cabezal de corte.</p> <p>3.2.5. Sistemas de corte.</p> <p>3.2.6. Desgaste cortadores.</p> <p>3.2.7. Sistemas de Guía y reconocimiento.</p> <p>3.3. Métodos de Excavación Vertical.</p> <p>3.3.1. Manual.</p> <p>3.3.2. Semi-mecanizados.</p> <p>3.3.3. Full-Mecanizados.</p> <p>3.4. Determinación de rendimientos de excavación (ciclos de construcción de chimeneas y piques).</p> <p>3.5. Planificación de Obras de excavación vertical.</p>	<p>corte.</p> <p>5. Determina una solución de diseño, considerando los fundamentos de la excavación mecanizada, tipos de máquinas TBM así como sus áreas de aplicación, la que justifica de manera argumentada y con un lenguaje técnico adecuado.</p> <p>6. Identifica métodos (fundamentos y herramientas) del arranque y quiebre de rocas por medios de explosivos y mecánicos, para el desarrollo de chimeneas y piques.</p> <p>7. Analiza los fundamentos de aplicación del arranque continuo (mecanizado), comparando sus ventajas y limitaciones respecto de la utilización de explosivos, proponiendo soluciones de diseño.</p> <p>8. Determina las operaciones unitarias de un ciclo de excavación vertical, calculando rendimientos de un ciclo de excavación, comparando los distintos métodos, a fin de planificar obras de excavación vertical para cada método.</p>	
---	---	--

Número	RA al que tributa	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
4	RA5	Fundamentos del arranque de roca por hundimiento ( <i>caving</i> )	2
Contenidos		Indicadores de Logro	Referencias a la Bibliografía
<p>4.1. Caracterización del macizo rocoso para fragmentación por hundimiento.</p> <p>4.2. Factores que determinan la <i>hundibilidad</i> y fragmentación.</p> <p>4.3. Tipos de socavación.</p> <p>4.4. Métodos de estimación de la fragmentación primaria y secundaria en minería masiva subterránea.</p> <p>4.5. Flujo gravitacional de mineral hundido.</p> <p>4.6. Métodos de estimación y control del proceso de fragmentación.</p> <p>4.7. Reducción secundaria y colgaduras.</p> <p>4.8. Acondicionamiento de rocas por <i>hidrofracturamiento</i> y uso de explosivos.</p>		<p>El estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Caracteriza el macizo rocoso para señalar, con argumentos claros, si es posible aplicar métodos masivos subterráneos, considerando aspectos geotécnicos y geométricos, a partir de ejemplos concretos.</li> <li>2. Identifica los diferentes tipos de socavación, diferenciándolos según aspectos de diseño y según condiciones de aplicabilidad, en casos concretos.</li> <li>3. Distingue los métodos de estimación y control del proceso de fragmentación, identificándolos y definiéndolos, según sus ventajas y desventajas en el contexto de la operación de la minería de <i>caving</i>.</li> <li>4. Argumenta, por escrito de manera clara y coherente, sobre las condiciones para aplicar minería de <i>caving</i>, considerando problemas operacionales, teorías de flujo, entre otros, a fin de determinar el diseño de la mina y la extracción de mineral, según un contexto dado.</li> </ol>	<p>[Brown, capítulos 2, 3, 4, 5, 6, 7]</p>

Número	RA al que tributa	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
4	RA5	Fundamentos del arranque de roca por hundimiento ( <i>caving</i> )	2
Contenidos		Indicadores de Logro	Referencias a la Bibliografía
<p>4.9. Caracterización del macizo rocoso para fragmentación por hundimiento.</p> <p>4.10. Factores que determinan la <i>hundibilidad</i> y fragmentación.</p> <p>4.11. Tipos de socavación.</p> <p>4.12. Métodos de estimación de la fragmentación primaria y secundaria en minería masiva subterránea.</p> <p>4.13. Flujo gravitacional de mineral hundido.</p> <p>4.14. Métodos de estimación y control del proceso de fragmentación.</p> <p>4.15. Reducción secundaria y colgaduras.</p> <p>4.16. Acondicionamiento de rocas por <i>hidrofracturamiento</i> y uso de explosivos.</p>		<p>El estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Caracteriza el macizo rocoso para señalar, con argumentos claros, si es posible aplicar métodos masivos subterráneos, considerando aspectos geotécnicos y geométricos, a partir de ejemplos concretos.</li> <li>Identifica los diferentes tipos de socavación, diferenciándolos según aspectos de diseño y según condiciones de aplicabilidad, en casos concretos.</li> <li>Distingue los métodos de estimación y control del proceso de fragmentación, definiéndolos, según sus ventajas y desventajas en el contexto de la operación de la minería de <i>caving</i>.</li> <li>Argumenta, por escrito de manera clara y coherente, sobre las condiciones para aplicar minería de <i>caving</i>, considerando problemas operacionales, teorías de flujo, entre otros, a fin de determinar el diseño de la mina y la extracción de mineral, según un contexto dado.</li> </ol>	[Brown, capítulos 2, 3, 4, 5, 6, 7]

### Bibliografía General

[Brady]

Brady and Brown, 2004. Rock Mechanics for Underground Mining. Kluwer Academic Publisher.

[Brown]

E.T. Brown, 2007. Block Caving Geomechanics. The International Caving Study.

[Chacón]

J. Chacón, 2000. Tecnología de los explosivos.

[Hartman and Mutmansky]

H. L. Hartman, J. M. Mutmansky, 2002. Introductory Mining Engineering.

[Holmberg ]

Holmberg, Hustrulid and Cunningham. Blast design for Underground Mining Applications.

[Hustrulid and Bullock]

Hustrulid and Bullock (Eds), 2001. Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International case Studies, Society of Mining Engineers.

#### **Bibliografía de base para apuntes del docente:**

[Hartman]

H. L. Hartman, 1992. SME Mining Engineering Handbook, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc.

[Hustrulid]

W. Hustrulid, 1999. Blasting principles for open pit mining .

[JKMRC]

JKMRC Mining and Minerals Processing, 1996. Open Pit Blast Design.

[Persson]

P.A. Persson, R. Holmberg, J. Lee, 1994. Rock Blasting and Explosives Engineering. CRC Press

[Salinas]

Salinas, C., 1998. Túneles, chimeneas y piques. Depto Ingeniería de Minas, Universidad de Chile.

Se sugiere, además, la siguiente bibliografía de apoyo al docente

Langefors- Kihistim  
**TECNICA MODERNA DE VOLADURA DE ROCAS**  
 2015, 460 páginas - 1 Vol.

López Jimeno-López Jimeno  
**MANUAL DE VOLADURAS EN TÚNELES**  
 2010, 368 páginas - 1 Vol.

López Jimeno-García Bermudez  
**MANUAL DE PERFORACIÓN Y VOLADURA DE ROCAS**  
 2003, 780 páginas - 1 Vol.

López Jimeno, Carlos  
**INGEOTUNELES VOL 10 INGENIERÍA DE TÚNELES**  
 edición 1a. año 2006.

García Ovejero, Roberto  
**MAQUINARIA PARA MOVIMIENTO DE TIERRAS**  
 edición 1a. año 2016

Vigencia desde:	2017
Elaborado por:	Jorge Cubillos. María Elena Valencia, Michael Weinhold, Raúl Chaparro
Validado por:	Gonzalo Montes, Jefe Docente
Revisado por:	Área de Gestión Curricular, SGD