

PROGRAMA DE CURSO

DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE MINAS A CIELO ABIERTO

A. Antecedentes generales del curso:

| | | | | | | |
|----------------------------|---|--------|------------|----------|------------------|-----|
| Departamento | Ingeniería de Minas | | | | | |
| Nombre del curso | Diseño y planificación de minas a cielo abierto | Código | MI5115 | Créditos | 6 | |
| Nombre del curso en inglés | <i>Open pit mine planning and design</i> | | | | | |
| Horas semanales | Docencia | 3 | Auxiliares | 1,5 | Trabajo personal | 5,5 |
| Carácter del curso | Obligatorio | X | | Electivo | | |
| Requisitos | IN3301: Evaluación de proyectos, MI4070: Fundamentos de tecnología Minera, MI4040: Análisis estadístico y geoestadístico de datos | | | | | |

B. Propósito del curso:

El curso tiene como propósito que el estudiantado aplique técnicas y modelos de optimización para definir la secuencia, el plan y las reservas mineras mediante el uso de softwares de planificación y diseño de minas a cielo abierto, considerando restricciones físicas y operacionales.

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

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

CE3: Diseñar operaciones y proyectos mineros, aplicando conocimientos de ingeniería y gestión.

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.

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.

CG3: Compromiso ético

Actuar de manera responsable y honesta, dando cuenta en forma crítica de sus propias acciones y sus consecuencias, en el marco del respeto hacia la dignidad de las personas y el cuidado del medio social, cultural y natural.

CG5: Sustentabilidad

Concebir y aplicar nuevas estrategias de solución a problemas de ingeniería y ciencias en el marco del desarrollo sostenible, considerando la finitud de recursos, la interacción entre diferentes actores sociales, ambientales y económicos, además de las regulaciones correspondientes.

C. Resultados de aprendizaje:

| Competencias específicas | Resultados de aprendizaje |
|--------------------------|--|
| CE3 | RA1: Compara distintos métodos de explotación a cielo abierto, tales como, canteras, <i>open pit</i> , mantos, entre otros, considerando el tipo y distribución espacial del recurso mineral para determinar las fases y secuencia más apropiadas. |
| CE2 | RA2: Utiliza herramientas de programación matemática y/o algoritmos y heurísticas, para modelar y resolver problemas de diseño y secuenciamiento de minas a cielo abierto, considerando restricciones geotécnicas y de procesamiento. |
| CE5 | RA3: Aplica técnicas y modelos de optimización para definir la secuencia, el plan y las reservas mineras aplicables a un proyecto minero, mediante el uso de softwares de planificación y diseño, considerando restricciones físicas y operacionales. |
| Competencias genéricas | Resultados de aprendizaje |
| CG1 | RA4: Expone, en forma oral y/o escrita, sobre la definición de la secuencia, el plan y las reservas mineras aplicables a un proyecto minero, argumentando de forma clara y coherente sobre los supuestos y parámetros utilizados en el diseño de una mina a cielo abierto. |

| | |
|----------|---|
| CG1, CG2 | RA5: Utiliza conceptos de optimización aplicada a minería, a partir de una lectura comprensiva de textos y artículos, en español e inglés, donde extrae y sintetiza información sobre el estado del arte en planificación minera y su desarrollo. |
| CG3, CG5 | RA6: Estima el impacto económico y ambiental de la ejecución de un proyecto de minas a cielo abierto, considerando la magnitud del proyecto y la injerencia de las decisiones del planificador sobre dicho costo ambiental. |

D. Unidades temáticas:

| Número | RA al que tributa | Nombre de la unidad | Duración en semanas |
|---|-------------------|---|---------------------|
| 1 | RA1 | Métodos de explotación | 3 semanas |
| Contenidos | | Indicador de logro | |
| 1.1. Contexto del problema minero. 1.2. Etapas de un proyecto minero. 1.1.1. Métodos de explotación a cielo abierto: Rajo, Canteras, Placeres, Minas de carbón. | | El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> Analiza el problema de la planificación minera de largo plazo, contextualizando desde una perspectiva técnica como del negocio minero. Determina distintas etapas para estudios y análisis de un proyecto minero a cielo abierto en sus distintas etapas, considerando alcances y nivel de precisión. Clasifica los principales métodos de explotación minera a cielo abierto, considerando tipo y geología del yacimiento, distribución de recursos minerales, condiciones geotécnicas y equipos de explotación. | |
| Bibliografía de la unidad | | [1] Handbook 1992 Chapter 1.1 History of Mining. Willard C. Lacy and John C. Lacy [2] Handbook 1992 Chapter 1.1 Elements of Mining. Howard L. Hartman [3] Handbook 2011 Chapter 4.7 Mineral Property Feasibility Studies Richard L. Bullock | |

| Número | RA al que tributa | Nombre de la unidad | Duración en semanas |
|--|-------------------|---|---------------------|
| 2 | RA2, RA3, RA5 | Optimización para el diseño y planificación de minas a cielo abierto | 5 semanas |
| Contenidos | | Indicador de logro | |
| 2.1. Modelos clásicos de optimización aplicados a la minería. 2.2. Definición de la envolvente económica. 2.3. Mejoras de los modelos clásicos de optimización en el contexto del diseño y planificación de minas a cielo abierto. | | El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> Utiliza variables y restricciones lineales para modelar problemas dentro del contexto de la planificación a cielo abierto. Resuelve el problema del <i>pit</i> final aplicado a cielo abierto, usando algoritmos y/o programación matemática. Conceptualiza y modela problemas relativos a la planificación minera y diseño a cielo abierto, considerando restricciones geotécnicas y de procesamiento. Diseña e implementa mejoras a algoritmos clásicos de planificación en el contexto del diseño y planificación de minas a cielo abierto. Lee en inglés y español textos técnicos (papers científicos) sobre modelos de optimización aplicados a minería para extraer conceptos que aplica al diseño de minas a cielo abierto. | |
| Bibliografía de la unidad | | [4] Handbook SME 2011 Chapter 6.6 Comparison of Surface Mining Methods Ernest Bohnet [5] Handbook SME 2011 Chapter 10 Surface Extraction. | |

| Número | RA al que tributa | Nombre de la unidad | Duración en semanas |
|--|-------------------|--|---------------------|
| 3 | RA1, RA3, RA4 | Diseño de fases de producción en minas a cielo abierto | 4 semanas |
| Contenidos | | Indicador de logro | |
| <p>3.1. Operaciones unitarias como condicionantes del diseño de minas a cielo abierto.</p> <p>3.2. Elementos del diseño de minas a cielo abierto: taludes, bancos, ángulos; anchos de fases.</p> <p>3.3. Productividad asociada al diseño.</p> <p>3.4. Diseño asistido por computadores (CAD).</p> <p>3.5. Condiciones físicas de las fases de explotación de minas a cielo abierto.</p> | | <p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ejecuta estudios de comparación (<i>trade off</i>) de los equipos y sistemas de carguío y transporte, en función de su productividad y su impacto en el diseño de minas a cielo abierto. 2. Utiliza criterios tales como anchos, mínimos de operación, tamaño promedio de fase, sistema de rampa, taludes, ángulos, entre otros para el diseño CAD de fases producción de minas a cielo abierto. 3. Utiliza técnicas y modelos de optimización para estimar el valor y productividad asociados al diseño de fases producción en minas explotadas a cielo abierto. 4. Redacta un informe técnico sobre el diseño de fases operacionales u operativas en minas a cielo abierto, considerando una justificación clara y coherente, sobre los supuestos y parámetros usados en el diseño. | |
| Bibliografía de la unidad | | <p>[6] Chapter 4, Hustrulid, W. A., Kuchta, M., & Martin, R. K. (2013). Open pit mine planning and design, two volume set & CD-ROM pack. CRC Press. Chicago.</p> <p>[7] Arteaga, F., Nehring, M., & Knights, P. (2018). The equipment utilisation versus mining rate trade-off in open pit mining. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 32(7), 495-518.</p> <p>[8] Arteaga, F., Nehring, M., Knights, P., & Camus, J. (2014). Schemes of exploitation in open pit mining. In Mine Planning and Equipment Selection (pp. 1307-1323). Springer, Cham. Chicago.</p> | |

| Número | RA al que tributa | Nombre de la unidad | Duración en semanas |
|---|-------------------------|--|---------------------|
| 4 | RA2, RA3, RA4, RA5, RA6 | Planes de producción y evaluación económica | 3 semanas |
| Contenidos | | Indicador de logro | |
| <p>4.1. Planes de producción de minas explotadas a cielo abierto.</p> <p>4.2. Evaluación económica del plan minero para minas explotadas a cielo abierto.</p> | | <p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Analiza las condiciones operacionales asociadas al diseño de la mina a cielo abierto, como condicionante del plan de producción. 2. Identifica y analiza requerimientos de producción, considerando satisfacer la demanda de plantas de procesamiento, mezclas, contaminantes, el respetar restricciones geomecánicas entre otras. 3. Evalúa económicamente el plan de producción minero, considerando parámetros financieros y técnico-ambientales. 4. Predice las consecuencias ambientales para diversos escenarios de toma de decisiones en la ejecución de un proyecto de minas a cielo abierto dada las características del diseño. 5. Lee en inglés y español textos técnicos (papers científicos) sobre métodos de evaluación técnico – económica de proyectos mineros para extraer conceptos aplicables a la evaluación de planes mineros. 6. Redacta un informe técnico conciso sobre la evaluación técnico económica de un proyecto minero en base a un plan de producción, considerando un análisis crítico de los resultados e identificar las variables que impactan de mayor forma al cumplimiento de normas medioambientales. | |
| Bibliografía de la unidad | | <p>[9] Chapter 6 Production Planning Hustrulid, W. A., Kuchta, M., & Martin, R. K. (2013). Open pit mine planning and design, two volume set & CD-ROM pack. CRC Press.</p> <p>[10] Chapter 16: Environmental Issues SME handbook 2011</p> <p>[11] Dimitrakopoulos, R. (Ed.). (2018). Advances in applied strategic mine planning. Springer International Publishing.</p> | |

E. Estrategias de enseñanza - aprendizaje:

El curso considera las siguientes estrategias de enseñanza:

- **Clases expositivas:** se exponen los principales conceptos sobre diseño y planificación minera a cielo abierto.
- **Resolución de problemas:** a partir de actividades prácticas, los estudiantes resuelven diversas tareas y desafíos sobre el diseño y evaluación de proyectos mineros a cielo abierto.
- **Laboratorios de computación:** tareas prácticas asociadas al uso de softwares de optimización y de diseño computacional aplicado a minas a cielo abierto.
- **Análisis crítico de lecturas:** lecturas sobre el uso de algoritmos clásicos y su aplicabilidad, así como tópicos avanzados en planificación minera.

F. Estrategias de evaluación:

Al inicio de cada semestre el académico o la académica informará al estudiante sobre los tipos de evaluación, cantidad, así como las ponderaciones correspondientes.

Para esta propuesta de programa, el curso considera las siguientes instancias de evaluación:

| Tipo de evaluación | Resultado de aprendizaje asociado a la evaluación |
|---|---|
| ▪ Tareas parciales (entre las que se puede mencionar lecturas, mini tareas) | Evalúan los RA2, RA3, RA6 |
| ▪ Controles | Evalúan RA1, RA5, RA6 |
| ▪ Presentaciones e informes de avance en base tareas, desafíos que debe resolver. | Evalúa RA2, RA3, RA6 |
| ▪ Examen | Evalúa RA1, RA5, RA6 |

G. Recursos bibliográficos:

Bibliografía obligatoria:

- [1] Chapter 1.1 History of Mining. Hartman, H. L. (1992). *SME mining engineering handbook*. S. G. Britton, J. M. Mutmanky, D. W. Gentry, W. J. Schlitt, M. Karmis, & M. M. Singh (Eds.). Denver: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.
- [2] Chapter 1.1 Elements of Mining. Hartman, H. L. (1992). *SME mining engineering handbook*. S. G. Britton, J. M. Mutmanky, D. W. Gentry, W. J. Schlitt, M. Karmis, & M. M. Singh (Eds.). Denver: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.
- [3] Chapter 4.7 Mineral Property Feasibility Studies. Darling, P., 2011, *SME Mining Engineering Handbook*, Third edition, Littleton, CO: SME
- [4] Chapter 6.6 Comparison of Surface Mining Methods. Darling, P., 2011, *SME Mining Engineering Handbook*, Third edition, Littleton, CO: SME
- [5] Chapter 10 Surface Extraction. Darling, P., 2011, *SME Mining Engineering Handbook*, Third edition, Littleton, CO: SME

- [6] Chapter 4, Hustrulid, W. A., Kuchta, M., & Martin, R. K. (2013). Open pit mine planning and design, two volume set & CD-ROM pack. CRC Press. Chicago.
- [7] Arteaga, F., Nehring, M., & Knights, P. (2018). The equipment utilisation versus mining rate trade-off in open pit mining. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 32(7), 495-518.
- [8] Arteaga, F., Nehring, M., Knights, P., & Camus, J. (2014). Schemes of exploitation in open pit mining. In *Mine Planning and Equipment Selection* (pp. 1307-1323). Springer, Cham. Chicago.
- [9] Chapter 6 Production Planning
Hustrulid, W. A., Kuchta, M., & Martin, R. K. (2013). Open pit mine planning and design, two volume set & CD-ROM pack. CRC Press.
- [10] Chapter 16: Environmental Issues. Darling, P., 2011, *SME Mining Engineering Handbook*, Third edition, Littleton, CO: SME
- [11] Dimitrakopoulos, R. (Ed.). (2018). *Advances in applied strategic mine planning*. Springer International Publishing.

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

| | |
|-----------------|---|
| Vigencia desde: | Otoño, 2023 |
| Elaborado por: | Juan Luis Yarmuch |
| Validado por: | Validación académico par: Kimie Suzuki, Luis Felipe Orellana Validación CTD de Ingeniería de Minas |
| Revisado por: | Área de Gestión Curricular |