

Minería Subterránea

Guía de Trabajo



VISIÓN

Ser la mejor organización de educación superior posible para unir personas e ideas que buscan hacer realidad sueños y aspiraciones de prosperidad en un entorno incierto

MISIÓN

Somos una organización de educación superior que conecta personas e ideas para impulsar la innovación y el bienestar integral a través de una cultura de pensamiento y acción emprendedora.

Universidad Continental

Material publicado con fines de estudio

Código: ASUC01398

Presentación



Minería Subterránea es una asignatura obligatoria de especialidad que se ubica en el octavo período de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas y tiene como prerrequisito la asignatura de Topografía Minera. Desarrolla a nivel inicial la competencia transversal Gestión de Proyectos; a nivel intermedio la competencia específica Diseño y Desarrollo de Soluciones; y a nivel logrado, la competencia transversal Conocimientos de Ingeniería, y las competencias específicas Análisis de Problemas y Uso de Herramientas Modernas. En virtud de lo anterior, su relevancia reside en brindar al estudiante una comprensión amplia sobre los últimos avances de diseño y selección de los métodos de explotación en minería subterránea.

El alumno debe entender metodologías estratégicas, económicas, técnicas y operacionales que permitan explotar eficientemente los yacimientos mineralizadas. Al mismo tiempo comprender las operaciones unitarias que conforman el ciclo productivo.

- ✓ Conocer la importancia del curso dentro la formación y el desempeño profesional.
- ✓ Conocer la metodología de evaluación para determinar el "Método de explotación subterránea".
- ✓ Explica e interpreta la clasificación de los métodos de explotación subterránea.
- ✓ Resumen de las obligaciones adicionales que tiene el estudiante.

Los contenidos generales que la asignatura desarrolla son los siguientes: la geología y geometría del yacimiento mineral; conocimientos de geomecánica; mecánica de rocas; aspectos económicos determinantes en la elección del método de explotación para el arranque de los recursos minerales, considerando los recursos materiales, equipos y herramientas, mano de obra, los precios de los metales, los principales indicadores y parámetros de la selección de un método de explotación subterránea.

Esta asignatura es eminentemente práctica, efectuando la recuperación de saberes previos, el análisis, la reconstrucción y la evaluación de los contenidos propuestos. El docente utilizará como metodología didáctica la clase magistral, la exposición dialogada, resolución de problemas, metodología basada en proyectos y el panel, incentivando la participación de los estudiantes con el objetivo de conseguir un aprendizaje activo, reflexivo y vivencial. Se enriquecerán y reforzarán los



contenidos mediante la asignación de tareas y cuestionarios a través del aula virtual de la universidad.

Dicho contenido se desarrolla estratégicamente en 4 unidades, siendo:

- Unidad 1: **geología y geometría del yacimiento mineral**
- Unidad 2: **conocimientos de geomecánica y geotécnica del yacimiento mineral.**
- Unidad 3: **mecánica de rocas.**
- Unidad 4: **aspectos económicos determinantes en la elección del método de explotación.**

Al finalizar la asignatura, el estudiante será capaz de diseñar el método de explotación a emplearse en un determinado yacimiento mineral mediante los estándares de calidad de operación minera, el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería y los parámetros geomecánicas establecidos para cada tipo de macizo rocoso y yacimiento mineral.

Se sugiere al estudiante, dar lectura al silabo del presente curso, seguimiento a los foros e información que se tiene en la plataforma, cumplir con todas las actividades programadas en el silabo, guía de trabajo y la hoja calendario.

El autor



Índice

VISIÓN	2
MISIÓN	2
Presentación	3
VISIÓN.....	2
MISIÓN.....	2
Presentación.....	2
Primera unidad	6
Reserva de mineral y método de explotación adecuada.....	6
Segunda unidad	10
Macizo rocoso.....	10
Tercera unidad	12
Operaciones unitarias y globales.....	12
Cuarta unidad	14
Método de explotación.....	14
Lista de referencias.....	15



Primera unidad

Semana 2

Reserva de mineral y método de explotación adecuada

- I. **Propósito:** sobre la construcción de accesos de superficie a la zona mineralizada será elección del alumno, quien en primer lugar definirá el método de explotación de acuerdo a la descripción del yacimiento descrito, luego de ello decidirá el acceso de ingreso, decidiendo las alternativas que ellos crean conveniente.
- II. **Descripción de la actividad a realizar:** el informe se desarrollará bajo la estructura establecida, cumpliendo el temario de cada unidad. En cambio, el informe final a presentar considera todos los temas desarrollados, como: introducción, ordenamiento del planeamiento estratégico, conclusiones y recomendaciones.
- III. **Contenido de informe final.** El trabajo deberá desarrollarse bajo la siguiente estructura:

ÍNDICE

- I. **Introducción**
- II. **Objetivo del estudio**
- III. **Generalidades**
- IV. **Conclusiones**

Capítulo I. Criterios de evaluación: Geología y geometría del yacimiento. Primera evaluación: geometría del yacimiento, aspectos geotécnicos y aspectos económicos)

Capítulo II. Criterios de evaluación: evaluación geomecánica y geotécnica. Segunda evaluación: condiciones económicas, factores tecnológicos y aspectos ambientales.

Capítulo III- Mecánica de rocas: selección del método de explotación (definición del método de explotación).

1. Definición del método de explotación.
2. Descripción de las actividades del método de explotación, explicando recursos, equipos, materiales, personal.
3. Describir los trabajos de servicios auxiliares: ventilación, aire comprimido, agua industrial, sostenimiento, drenaje, rellenos (si viene al caso).
4. Graficar el método de explotación, de acuerdo al ciclo.
5. Planeamiento y diseño del acceso e instalaciones que se elabora de superficie hacia el yacimiento.
6. Elaboración de planes y programas, de preferencia en el método GANNT.
 - a. Programa de exploración



- b. Programa de desarrollo.
- c. Programa de preparación
- d. Programa de explotación
- e. Otros programas.
7. Mecanización y automatización
8. Modelamiento de mina en 2D y 3D.
9. Subsidiencias y efectos de superficie.

Capítulo IV. Evaluación de resultados: aspectos económicos del método de explotación: evaluación de resultados.

1. Evaluación de resultados.
2. Aspectos económicos determinantes del método de explotación.
3. Ventajas y desventajas del método.
4. Alternativas de otro método alternativo.
5. Controles técnicos de los recursos utilizados: eficiencias, rendimientos y costos.
6. Controles de gestión de seguridad y salud, uso de herramientas de control operativo.
7. Cumplimiento de la normativa legal peruana, transectorial y sector EM.
8. Factores ambientales: control de aspectos e impactos ambientales, actividades preventivas.

Capítulo V. Material didáctico

IV. Formato de presentación:

- Utilice un procesador de texto (*.doc) para la elaboración de la presente actividad. El tipo de letra a utilizar debe ser Arial, tamaño 12.
- El nombre del archivo debe ser grabado de la siguiente forma:
PA1_Apellido1_Nombre.doc
- El nombre del archivo debe ser grabado de la siguiente forma:
PA1_Apellido1_Apellido2_Apellido3
- El envío de la actividad se realizará por el aula virtual, unidad 1, apartado Producto académico 1
- Un integrante del grupo debe publicar el archivo en el aula virtual antes de la fecha y hora límite de entrega.

Respete las indicaciones planteadas para esta actividad, a fin de que su evaluación pueda realizarse sin inconvenientes.

V. Rúbrica de evaluación:

A continuación, se presenta la escala de valoración, en base a la cual se evaluará.



Crterios	Sobresaliente (5 puntos)	Suficiente (3 puntos)	En proceso (1 puntos)	En inicio (0 puntos)
Presentación del trabajo de investigación	Cumple con el esquema solicitado para el trabajo de investigación.	Cumple con al menos 4 ítems del esquema solicitado para el trabajo de investigación.	Cumple con 3 ítems o menos del esquema solicitado para el trabajo de investigación.	No cumple con el esquema solicitado para el trabajo de investigación.
Identificación de factores geológicos, geotécnicos y de geometría	Identifica los principales factores y sus respectivas características.	Identifica solo los factores principales y sus características.	Identifica solo 3 títulos y algunos factores secundarios.	No identifica títulos ni factores secundarios
Identificación solo de los factores principales.	Identifica algunos factores y sus respectivas características.	Identifica 2 factores principales y pocos secundarios.	Identifica 1 factor principal y sus características.	No identifica los factores principales, ni secundarios.
Contenido	Todo el contenido se encuentra de acuerdo al temario establecido en esta investigación.	La mayor parte del contenido es pertinente	Algunas partes del contenido no enfocado al tema	Contenido, trabajado no guarda relación al tema del trabajo de investigación.
Total parcial				
Nota				

VI. Procedimientos

Instrucciones para la I Unidad: La empresa "Centauro S.A." luego de 15 años de exploración cubica un yacimiento, teniendo la autorización para iniciar con las labores de desarrollo para explotar el yacimiento "Centauro".

Respecto a la elaboración del proyecto en su totalidad, los grupos de alumnos desarrollarán durante el ciclo de estudios de 16 semanas, presentando en 4 evaluaciones (4 unidades) los avances de acuerdo al temario que se considera en este producto académico.

En cada unidad de estudio, presentar informes para su respectiva calificación, cuya nota se considerará en las evaluaciones de los dos consolidados y en las dos pruebas escritas. (EP y EF).

Temario desarrollado en la primera unidad:

I Unidad.

Temario considerado para la primera unidad

1. Yacimientos mineralizados,
2. Selección de método, métodos de explotación subterránea.
3. Cálculo y clasificación de reservas.
4. Geometría y distribución de leyes (forma, potencia, buzamiento, tamaño).



A. Criterios de primera evaluación:

(Geometría del yacimiento, aspectos geotécnicos y aspectos económicos)

- a. Profundidad (encape de superficie) = 250 m
- b. Forma= Tabular
- c. Potencia de la veta = 20 m a 30 m
- d. Buzamiento del yacimiento= mayor a 60°
- e. Peso específico del mineral: 3.2 t/m³
- f. Dimensión del cuerpo
 - i. Longitud del yacimiento: 900 m
 - ii. Altura del yacimiento: 300 m
- g. Mineralogía y petrografía: sulfuros
- h. Estructura del depósito: pocas fallas
- i. Aguas subterráneas e hidrología (presencia de filtraciones)
- j. Distribución de ley: pareja
- k. Calidad geomecánica de las rocas mineralizada: (RMR)
- l. Calidad de la roca encajonante: competente
- m. Estructural: presencia de fallas.



Segunda unidad

Semana 6

Macizo rocoso

Instrucciones para la II Unidad.

Respecto a la elaboración del proyecto en su totalidad, los grupos de alumnos desarrollarán durante el ciclo de estudios de 16 semanas, presentando en 4 evaluaciones (4 unidades) los avances de acuerdo al temario que se considera en este producto académico.

En cada unidad de estudio, presentar informes para su respectiva calificación, cuya nota se considerará en las evaluaciones de los dos consolidados y en las dos pruebas escritas. (EP y EF).

Temario desarrollado en la segunda unidad:

II Unidad: Temario considerado para la primera unidad

En la presente unidad, el estudiante será capaz de procesar los conocimientos del macizo rocoso solucionando labores, necesidades o inconvenientes que se le presente respecto a la geomecánica y geotécnica, instalando eficientemente las diversas alternativas de sostenimiento.

Temas por desarrollar:

1. Parámetros geomecánicos, resistencia de la matriz rocosa, espaciamiento entre fracturas, resistencia de las discontinuidades.
2. Aspectos geotécnicos (mecánica de suelos y rocas). Propiedades elásticas y físicas del yacimiento

Criterios de evaluación (Primera evaluación):

1. **Mineralogía y petrografía** (sulfuros vs óxidos).
2. **Composición química** (primaria, minerales subproducto).
3. **Estructura del depósito** (Plegamientos, fallas, intrusiones)
4. **Planos de debilidad** (juntas, fracturas, clivaje del mineral)
5. **Aguas subterráneas e hidrología** (ocurrencia, gastos, nivel freático)



Criterios de evaluación (Segunda Evaluación):

CONSIDERACIONES ECONOMICAS Reservas (tonelaje y leyes) Cantidad de producción Vida Productividad Costos de minado
FACTORES TECNOLOGICOS Recuperación Dilución Flexibilidad Selectividad Concentración/dispersión Velocidad de desarrollo Intensidad de capital Mano de obra Mecanización
ASPECTOS AMBIENTALES Control de aperturas Subsidiencias/hundimientos Control atmosférico Productividad Fuerza laboral Seguridad y Salud



Tercera unidad
Semana 9
Operaciones unitarias y globales

- I. **Propósito:** el estudiante será capaz de definir el tipo de equipo utilizado en minería a tajo abierto para todos los procesos, el presente trabajo está orientado por la actividad de transporte, donde debe medir sus rendimientos para definir la selección.

Instrucciones para la III Unidad:

Respecto a la elaboración del proyecto en su totalidad, los grupos de alumnos desarrollarán durante el ciclo de estudios de 16 semanas, presentando en 4 evaluaciones (4 unidades) los avances de acuerdo al temario que se considera en este producto académico.

En cada unidad de estudio, presentar informes para su respectiva calificación, cuya nota se considerará en las evaluaciones de los dos consolidados y en las dos pruebas escritas. (EP y EF).

Temario desarrollado en la primera unidad:

III Unidad: Temario considerado para la primera unidad

Al finalizar la unidad, el estudiante tendrá la capacidad de evaluar y controlar sus operaciones unitarias y globales (recursos y métodos), interpretando adecuadamente, elaborando sus programas, planes, controlando sus recursos, cuidando costos y atendiendo a los riesgos que se le presenten en sus actividades. Evaluación de la Mecánica de rocas.

Temas por desarrollar:

1. Investigaciones geotécnicas del terreno, mapeo.
2. Interpretación y análisis de geología estructural.
3. Caracterización y clasificación del macizo rocoso.
4. Análisis de estabilidad subterránea, modelamiento en 2D y 3D.
5. Diseño e integración de soporte con material de relleno



A. Criterios de evaluación (Primera evaluación):

Mecánica de Rocas: selección del método de explotación (definición del método de explotación).

1. Definición del método de explotación.
2. Descripción de las actividades del método de explotación, explicando recursos, equipos, materiales, personal.
3. Describir los trabajos de servicios auxiliares: ventilación, aire comprimido, agua industrial, sostenimiento, drenaje, rellenos (si viene al caso).
4. Graficar el método de explotación, de acuerdo al ciclo.
5. Planeamiento y diseño del acceso e instalaciones que se elabora de superficie hacia el yacimiento.
6. Elaboración de planes y programas, de preferencia en el método GANNT.
 - a. Programa de exploración
 - b. Programa de desarrollo.
 - c. Programa de preparación
 - d. Programa de explotación
 - e. Otros programas.
7. Mecanización y automatización
8. Modelamiento de mina en 2D y 3D.
9. Subsidiencias y efectos de superficie



Cuarta unidad

Semana 13

Método de explotación

Instrucciones para la IV Unidad.

Respecto a la elaboración del proyecto en su totalidad, los grupos de alumnos desarrollarán durante el ciclo de estudios de 16 semanas, presentando en 4 evaluaciones (4 unidades) los avances de acuerdo al temario que se considera en este producto académico.

En cada unidad de estudio, presentar informes para su respectiva calificación, cuya nota se considerará en las evaluaciones de los dos consolidados y en las dos pruebas escritas. (EP y EF).

Temario desarrollado en la primera unidad:

IV Unidad: temario considerado para la primera unidad

En la presente unidad, el estudiante será capaz de procesar los conocimientos del macizo rocoso solucionando labores, necesidades o inconvenientes que se le presente respecto a la geomecánica y geotécnica, instalando eficientemente las diversas alternativas de sostenimiento.

Temas por desarrollar:

1. Consideraciones económicas (reservas, tonelaje, cantidad de producción, vida de la mina. Estimación de costos y análisis económico)
2. Factores tecnológicos (recuperación de mina, dilución, selectividad y mecanización)
3. Parámetros de aspectos ambientales (control de aperturas, selección de métodos de explotación. Diseño y determinación del método de explotación)
4. Reglamento de seguridad, salud ocupacional.



Lista de referencias

Básica

Herrera, J. y Gómez, J. (2007). *Diseño de Explotaciones e Infraestructuras Mineras Subterráneas*. Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas. <https://bit.ly/3bTxjRz>

Complementaria:

Aguirre, H. (2016). *Minería de procesos: fundamentos y metodología de aplicación*. Pontificia Universidad Javeriana. <https://hubinformacion.continental.edu.pe/recursos/libros-digitales-de-proquest/>

Barton, N., Lien, R. Y Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics* (6) 4, pp. 189-236.

Bieniawski, Z.T. (1967). Mechanism of brittle fracture of rock. Ph. D. Thesis. University of Pretoria 1967.

Bieniawski, Z.T. (1976). Rock mass classification in rock engineering. Proc. Symp. Exploration for Rock Engineering, vol 1, pp. 97-106. Ed. Balkema, Ciudad del Cabo.

Ortiz, F. (1994) *Fundamentos de Laboreo minero*.

Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, D.S. 024-2016-EM.

Modificatoria del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en minería . DS 023-2017 – EM

Ley 29783 – Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo

Ley 30222. Modificatoria de la ley 29783.

Reglamento de Seguridad y Salud en el trabajo – D.S 006_2014- TR

Modificatoria del Reglamento de Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo.

DS 005-12-TR

Recursos digitales:

Fractal (software especializado pagado de mantenimiento de equipo pesado)

SisMAC (software para la gestión de mantenimiento automotriz en la nube)