

Guía de Trabajo

Túneles y Movimiento de Materiales

Benjamín Manuel Ramos Aranda



Guía de Trabajo *Túneles y Movimiento de Materiales*
Benjamín Manuel Ramos Aranda

Código: ASUC01612
Plan de Estudios 2018
Material publicado con fines de estudio

Huancayo, 2023

De esta edición

© Universidad Continental, Oficina de Gestión Curricular
Av. San Carlos 1795, Huancayo-Perú
Teléfono: (51 64) 481-430 anexo 7361
Correo electrónico: recursosucvirtual@continental.edu.pe
<http://www.continental.edu.pe/>

Corrección de textos
Roy Vega Jácome

Diseño y diagramación
Edson Quilca Romero

Cuidado de edición
Fondo Editorial y Gestión Curricular

Todos los derechos reservados.

La *Guía de Trabajo*, recurso educativo editado por la Oficina de Gestión Curricular, puede ser impresa para fines de estudio.

Contenido

Presentación	5
Primera Unidad	
Diseño de secciones típicas. Diseño de los servicios que se requieren en la construcción de un túnel	7
Semana 1: Sesión 1	
Evolución histórica de la excavación de túneles	8
Semana 4: Sesión 4	
Nuevo método austriaco (NATM)	9
Segunda Unidad	
Características y generalidades del emboquillado de los túneles	13
Semana 6: Sesión 6	
Uso de las clasificaciones geomecánicas en las boquillas de los túneles	14
Semana 7: Sesión 7	
Sostenimiento de túneles	16
Tercera Unidad	
Construcción de túneles mediante el método de minado discontinuo de perforación-voladura y excavación mecánica	17
Semana 10: Sesión 10	
Excavación del túnel con perforación y voladura	18
Semana 12: Sesión 12	
Rendimiento de máquinas rozadoras	19
Cuarta Unidad	
Construcción de un túnel mediante el método de minado continuo (TBM)	21
Semana 13: Sesión 13	
Clasificación de las tuneladoras	22
Semana 15: Sesión 15	
Rendimiento de tuneladora de EPB	23
Referencias	25

Presentación

La presente guía de trabajo tiene como finalidad la aplicación práctica de la teoría adquirida por el estudiante en sus clases, a través del desarrollo de talleres referentes a temas de cada unidad.

La guía de trabajo contiene los talleres que deben ser desarrollados en clase. Está organizada por unidades: en la primera se aborda el diseño y selección del método de excavación; en la segunda, se busca determinar el comportamiento geológico-geotécnico con la evaluación del sostenimiento a aplicar en el emboquille y durante el desarrollo del túnel; en la tercera, se deberá calcular y diseñar la perforación y voladura con el método convencional minero en la construcción de túneles, y evaluar y calcular el rendimiento de una rozadora puntual; por último, en la cuarta, se busca evaluar las condiciones geotécnicas del macizo rocoso y seleccionar la máquina tuneladora TBM.

Al finalizar la primera unidad, el estudiante será capaz de diseñar la geometría y el trazado de un túnel, con base en el comportamiento geomecánico del macizo rocoso. En la segunda unidad, analizará criterios de diseño del emboquille del túnel, en relación con la estabilidad del talud. En la tercera unidad, se propondrá el método constructivo, así como los equipos para la construcción de túneles, y se analizarán el rendimiento y los costos. Por último, en la cuarta unidad, se analizarán los mecanismos de arranque y excavación subterránea continua y se propondrá la selección de tuneladoras TBM.

Al finalizar la asignatura, el estudiante será capaz de evaluar los mecanismos de arranque en túneles y empleará correctamente los procedimientos, ya sea por el método continuo con tuneladora o por el método convencional minero, y comprenderá la importancia de la geología-geotécnica del macizo rocoso.

Finalmente, para el desarrollo de la guía se ha de utilizar el material y los apuntes de clases, que se encuentran en el aula virtual, así como otras fuentes de la biblioteca de la universidad, como manuales y libros referentes a túneles.

El autor

Primera Unidad



Diseño de secciones típicas. Diseño de los servicios que se requieren en la construcción de un túnel

Evolución histórica de la excavación de túneles

Sección: Fecha:/...../..... Duración: 60 minutos
Docente: Unidad: 1
Nombres y apellidos:

Instrucciones

Lea y analice el material “Historia de los túneles y su evolución histórica”, alojado en el siguiente link: (<https://acortar.link/xqzGWt>). Luego desarrolle la tarea indicada en la descripción de la actividad.

I. Propósito

El estudiante será capaz de ordenar cronológicamente la evolución de las técnicas de los métodos de excavación de túneles.

II. Descripción de la actividad a realizar

Prepare una línea de tiempo de la evolución histórica de la excavación de túneles.

Recomendación: el trabajo es individual y se sugiere que el alumno se apoye en información que obtenga de libros, revistas e internet.

Nuevo método austriaco (NATM)

Sección: Fecha:/...../..... Duración: 60 minutos
Docente: Unidad: 1
Nombres y apellidos:

Instrucciones

Reúnanse en grupo de tres alumnos y desarrollen el ejercicio que se indica en la descripción de la actividad.

I. Propósito

El estudiante será capaz de evaluar y seleccionar el método constructivo de túneles en función del comportamiento geotécnico del tipo de macizo rocoso.

II. Descripción de la actividad a realizar

Con la finalidad de descongestionar el tráfico, se tiene planificada la construcción de un túnel de 1 km de largo en una zona urbana de una ciudad (con edificios de hasta treinta pisos), que unirá de manera subterránea dos avenidas troncales. El túnel se construirá a una profundidad de 8 m del nivel de las vías de la ciudad.

Se han realizado estudios de sondeos diamantinos y calicatas, y se ha determinado que el macizo rocoso en el que se ejecutará la obra tiene las siguientes características: grava arenosa denso, no plástica, de baja humedad, de color gris, con grava redondeada de tamaño variado y se observan bolones en forma aislada. El estrato es un depósito aluvial, como todo valle, que ha formado estratos.

En clase se explicó la clasificación de los métodos constructivos de túneles y la descripción de cada uno de ellos y su aplicación.

Se les pide seleccionar el método de excavación adecuado para el caso, el cual deberá ser sustentado y explicado a detalle.

Se les recomienda investigar en manuales y libros referentes a excavación de túneles de la biblioteca de la universidad y/o los publicados en internet.

La siguiente tabla de comparación de los métodos constructivos de túneles les servirá de guía básica:

Tabla 1

Comparación de métodos constructivos de túneles estudiados

Metodo constructivo	Tipo de terreno	Ventajas	Desventajas
Cut and cover	Para todo tipo de terreno	"Reducción de costos, seguro, disminuye afectaciones"	"Requiere un tipo de cimentación para evitar levantamientos, problemas en movilidad"
Excavación con explosivos	Rocas resistentes y abrasivas	"Permite acceder al frente de excavación del túnel en cualquier momento, permite efectuar fácilmente cambios durante la construcción"	Impacto medio ambiental alto, problemática social debido a los trastornos que causa estas explosiones
Método norteamericano	Terrenos razonablemente firmes	El terreno entre costillas se mantiene en su lugar por medio de planchas de revestimiento	El proceso es muy lento
Método inglés	Arenas y areniscas	Avance de la perforación a sección completa del túnel	Normalmente se emplea para túneles de pequeña sección (menores a 15 m ²)
Método belga	Para todo tipo de terreno	No requiere maquinaria avanzada ni grandes inversiones	"Al descalzar la bóveda para la construcción de los hastiales pueden producirse agrietamientos o la rotura de la bóveda"
Método alemán	Terreno inestable	"Permite la construcción de grandes luces, reduce los posibles asentamientos diferenciales"	El proceso es muy lento

continúa...

Nuevo método austriaco	Para todo tipo de terreno	"Fácil adaptación a condiciones de terreno cambiantes, posibilidad de adoptar medidas anticipadas de sostenimiento previas a la excavación y posteriores al sostenimiento primario."	"Incremento de recursos en los sistemas de control y seguimiento geométrico y cuantitativo"
Métodos con máquinas tuneladoras	Para todo tipo de terreno	Rendimiento, no necesita entibados	Costos, traslados

Nota. Información tomada de "Estado del conocimiento de los procesos constructivos en proyectos tuneleros dentro del contexto colombiano", por D. Monroy y J. Rodríguez, 2016.

Segunda Unidad



Características y generalidades del
emboquillado de los túneles

Uso de las clasificaciones geomecánicas en las boquillas de los túneles

Sección: Fecha:/...../..... Duración: 60 minutos
Docente: Unidad: 2
Nombres y apellidos:

Instrucciones

Reúnanse en grupo de tres alumnos y desarrollen el ejercicio que se indica en la descripción de la actividad.

I. Propósito

El estudiante será capaz de aplicar las clasificaciones geomecánicas y seleccionar el tipo de tratamiento en los taludes en el diseño de la excavación del emboquille de un túnel.

II. Descripción de la actividad a realizar

Determinen el RMR a partir de los datos asociados a la observación del lugar seleccionado para el inicio de la excavación de un túnel (emboquille o boca).

Tabla 2

Propiedades y valor-intervalo

Propiedades	Valor-intervalo
Resistencia a la compresión simple	25-50 MPa
RQD	50-75 %
Separación entre juntas	0.2-0.6 mm
Estado entre juntas	
Continuidad	10-20 m
Apertura	0.1-1 mm

continúa...

...viene

Rugosidad	Algo rugosa
Relleno	Blando, espesor < 5 mm
Meteorización	Moderada
Flujo de agua en las juntas	Secas

Nota. Datos tomados en campo.

Una vez conseguido el valor del RMR, determinen el tratamiento de los taludes y el tipo de paraguas que se debe emplear.

Sostenimiento de túneles

Sección: Fecha:/...../..... Duración: 60 minutos

Docente: Unidad: 2

Nombres y apellidos:

Instrucciones

Reúnanse en grupo de tres alumnos y desarrollen el ejercicio que se indica en la descripción de la actividad.

I. Propósito

El estudiante será capaz de proponer el sistema de refuerzo del macizo rocoso en la excavación de un túnel.

II. Descripción de la actividad a realizar

Se está excavando un túnel con el método de perforación y voladura y se van a atravesar dos zonas de comportamiento geológico y geomecánico diferente. Si la primera tiene un RMR de 45 y la segunda un RMR de 72, se les pide lo siguiente:

- Determinen el sistema o los sistemas de refuerzo para cada zona.
- Detallen las características técnicas de cada tipo de sostenimiento a emplear en cada zona.

Tercera Unidad



Construcción de túneles mediante
el método de minado discontinuo
de perforación-voladura y
excavación mecánica

Excavación del túnel con perforación y voladura

Sección: Fecha:/...../..... Duración: 60 minutos

Docente: Unidad: 3

Nombres y apellidos:

Instrucciones

Reúnanse en grupo de tres alumnos y desarrollen el ejercicio que se indica en la descripción de la actividad.

I. Propósito

El estudiante será capaz de calcular y diseñar la malla de perforación y voladura controlada de contorno del túnel.

II. Descripción de la actividad a realizar

Tras analizar los manuales con los que dispone y aplicar las fórmulas propuestas por los diferentes autores, diseñen la malla de perforación para voladura de contorno de un túnel de las siguientes características:

- Ancho: 6 m / Alto: 6 m
- Longitud de perforación: 4.0 m (*jumbo* con barreno de 14')
- Densidad de roca: 2.4 t/m³ (granito blando)
- Resistencia a la tracción simple de la roca de 10 MPa.
- Taladro de producción: 45 mm
- Taladros de alivio: 102 mm

Se les pide lo siguiente:

- El *burden* y espaciamiento del corte
- El *burden* y espaciamiento de los taladros de contorno
- Número de taladros, incluyendo los de contorno
- El diseño de la malla y su gráfico a escala
- La distribución de los taladros (cantidad de ayudas, cuadradores, etc.)
- Tipo y cantidad de explosivos que se emplearán tanto en la voladura de contorno como en la tanda y el arranque

Rendimiento de máquinas rozadoras

Sección: Fecha:/...../..... Duración: 60 minutos
Docente: Unidad: 3
Nombres y apellidos:

Instrucciones

Reúnanse en grupo de tres alumnos y desarrollen el ejercicio que se indica en la descripción de la actividad.

I. Propósito

El estudiante será capaz de evaluar y calcular el rendimiento de una rozadora de ataque puntual.

II. Descripción de la actividad a realizar

En un proyecto de construcción de un túnel de 1580 m y sección de 5 m de ancho por 6 m de alto, el material a excavar son esquistos y filitas; se trata de rocas metamórficas poco abrasivas y muy poco alterables. La siguiente tabla indica algunas propiedades geotécnicas medias del material:

Tabla 3

Propiedades y valor

Propiedades	Valor
Peso específico	2.77 g/cm ³
Resistencia a compresión	$\sigma_c = 67$ MPa
Resistencia a tracción	$\sigma_t = 9$ MPa
Coefficiente de Poisson	$\nu = 0.3$
Parámetro m_i	$M_i = 10$
Abrasividad Cerchar	
Índice Schimazek	$F = 0.22$ kN / m

Se les pide seleccionar la máquina rozadora de ataque puntual ideal para el caso y calcular el rendimiento de la máquina seleccionada.

Se les recomienda aplicar la información del capítulo 3, "Máquinas de ataque puntual, rozadoras" (pp. 77-128), del libro *Excavación mecánica de túneles*, de Laureano Cornejo (1988).

Cuarta Unidad



Construcción de un túnel
mediante el método de minado
continuo (TBM)

Clasificación de las tuneladoras

Sección: Fecha:/...../..... Duración: 60 minutos

Docente: Unidad: 4

Nombres y apellidos:

Instrucciones

Reúnanse en grupo de tres alumnos y desarrollen el ejercicio que se indica en la descripción de la actividad.

I. Propósito

El estudiante será capaz de evaluar las condiciones geotécnicas del macizo rocoso y seleccionar la máquina tuneladora que se adecúe al caso.

II. Descripción de la actividad a realizar

Se va a construir un túnel que atraviese una cordillera, con una longitud de 25 km. La geología que se atravesará es compleja, compuesta de tobas volcánicas, pórfidos de cuarzo y andesita. Las resistencias del macizo rocoso varían desde 30 hasta 180 MPa.

Los estudios de exploración han determinado que se atravesarán cerca de 280 fallas y muchas de ellas con más de 30 m de potencia, en las que se encuentran arcillas y lutitas como relleno.

Se les pide seleccionar la máquina TBM para el proyecto, especificar los factores que se tomaron en cuenta para la selección y cómo influirán las características técnicas de la máquina seleccionada para un trabajo exitoso.

Rendimiento de tuneladora de EPB

Sección: Fecha:/...../..... Duración: 60 minutos

Docente: Unidad: 4

Nombres y apellidos:

Instrucciones

Reúnanse en grupo de tres alumnos y desarrollen el ejercicio que se indica en la descripción de la actividad.

I. Propósito

El estudiante será capaz de evaluar el método de excavación y seleccionar el equipo que se empleará en la construcción de un túnel en profundidad.

II. Descripción de la actividad a realizar

En el proyecto de la nueva carretera Oroya-Lima se tiene como una alternativa construir un túnel que unirá a la zona de San Mateo a cotas más debajo de Morococha, lo cual ahorrará decenas de kilómetros y evitará pasar la zona alta de la cordillera.

Al planificar la construcción de un túnel, inicialmente se realizan investigaciones preliminares, y uno de estos estudios es el de trabajos ya ejecutados en condiciones similares.

Se les pide que, con base en la información que puedan recabar de la construcción del túnel de Olmos, en la región Lambayeque, y tras analizar los procedimientos, equipos y dificultades de dicho proyecto, determinen el método de excavación y el equipo o los equipos necesarios para la ejecución del túnel transandino de la carretera Central. Asimismo, especifiquen el porqué de su selección y las dificultades que van a vencer.

Como base para su investigación, tienen los *links* referentes al tema. De todas maneras, se les recomienda buscar más información sobre las condiciones de construcción de túneles de profundidad.

- H2OImos. (s. f.). *Proyecto de irrigación Olmos. Oportunidad de adquisición de tierras agrícolas con derechos de agua en Perú*. <https://acortar.link/hPKJgX>
- Robbins. (s. f.). *Túnel trasandino de Olmos*. <https://acortar.link/a6UYxa>

Referencias

- Cornejo, L. (1988). *Excavación mecánica de túneles*. Editorial Rueda.
- ETSECCPB-UPC. (s. f.). *Historia de los túneles y su evolución histórica*. <https://acortar.link/t1q2Gx>
- Chapman, D., Stark, A., y Metje, N. (2018). *Introduction to tunnel construction*. (2.ª ed.). CRC Press. <https://bit.ly/3rrE84M>
- Guerra, J. (2017). *Manual de procedimientos constructivos de túneles*. Editorial Carlos López Jimeno.
- H2Olmos. (s. f.). Proyecto de irrigación Olmos. Oportunidad de adquisición de tierras agrícolas con derechos de agua en Perú. <https://acortar.link/hPKJgX>
- López, C., Abadía, F., y Abella, A. (2011). *Manual de túneles y obras subterráneas* (4.ª ed.). E. T. S. I. Minas-Universidad Politécnica de Madrid.
- López, C., Arnáiz, R., López, E., y García, P. (2013). *Manual de perforación en túneles: avance, sostenimiento e inyecciones*. Gráficas Arias Montano, S. A.
- Monroy, D., y Rodríguez, J. (2016). *Estado del conocimiento de los procesos constructivos en proyectos tuneleros dentro del contexto colombiano* [Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero civil, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio institucional.
- Rijalba, F. (2016). *Tratado de ingeniería de explosivos, perforación y voladura de rocas en obras civiles y mineras*. Ibergarceta Publicaciones.
- Robbins. (s. f.). *Túnel trasandino de Olmos*. <https://acortar.link/a6UYxa>

