



Universidad
Continental

Mecánica de Rocas II

**Guías de
Laboratorio**



Visión

Al 2021, ser la mejor universidad para el Perú y el mundo en el contexto de la Cuarta Revolución Industrial.

Misión

Somos una organización de educación superior dinámica que, a través de un ecosistema educativo estimulante, experiencial y colaborativo, forma líderes con mentalidad emprendedora para crear impacto positivo en el Perú y en el mundo.

Universidad Continental

Material publicado con fines de estudio



Índice

VISIÓN	2
MISIÓN	2
NORMAS BÁSICAS DE LABORATORIO	3
PRIMERA UNIDAD	
Guía de práctica N° 1: Ensayo uniaxial o de compresión simple	4
SEGUNDA UNIDAD	
Guía de práctica N° 2: Ensayo de tracción indirecta (Brasileño)	7
TERCERA UNIDAD	
Guía de práctica N° 3: Logueo geotécnico	10
CUARTA UNIDAD	
Guía de unidad N° 4: Ensayo de compresión triaxial	14
Guía de práctica N° 5: Clasificación geomecánica y métodos de sostenimiento	19



Guía de práctica N° 1

Ensayo uniaxial o de compresión simple

Sección : Docente:

Fecha :/...../..... Duración: 4 Horas

Instrucciones:

Valores: puntualidad, responsabilidad, honestidad

Manipular los equipos, materiales y reactivos con: responsabilidad, seguridad, orden y limpieza

1. Propósito /Objetivo (de la práctica):

Especificar el equipo, instrumentación y procedimientos empleados para determinar la resistencia máxima a la compresión sin confinamiento lateral en un testigo cilíndrico de roca.

2. Fundamento Teórico

El esfuerzo máximo de compresión es definido como el esfuerzo necesario para producir la fractura del testigo cilíndrico. Se considera que la fractura ocurre cuando se produce una caída repentina en la aplicación de la carga, no siendo capaz el testigo de soportar incrementos de carga posteriores.

Para poder relacionar los ensayos es necesario uniformizar los resultados empleando testigos con una relación longitud diámetro (l/d) constante. Saint Venant estableció que en ensayos de testigos cilíndricos se produce una distribución de esfuerzos anómalos en una zona de longitud igual al diámetro del testigo medido a partir del área de aplicación o contacto de la carga por lo que recomendó el uso de testigos con relaciones l/d mayores o iguales a 2.

El paralelismo entre las bases es muy importante ya que pequeñas imperfecciones pueden causar considerables errores en los resultados.

3. Equipos, Materiales y Reactivos

3.1. Equipos

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Equipo de carga Uniaxial	Medir RCP	1
2	Calibrador pie de rey (Vernier	Manual	1
3			

3.2. Materiales

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	Rocas	Testigos	3
2			
3			
4			
5			



3.2. Reactivos

Ítem	Reactivo	Característica	Cantidad
1	agua	Agua potable	3 Lt
2			
3			

4. Indicaciones/instrucciones:

Equipo

- Máquina de ensayos. Una prensa capaz de medir la carga aplicada sobre el testigo, con una capacidad de carga de 100 toneladas y que cumple con los requerimientos de la Norma ASTM E4 y British Standard 1610.
- Bloques de asiento. La máquina de ensayos está equipada con dos bloques de asiento en forma de disco, de acero con dureza Rockwell HRC 58. Uno de los bloques, el inferior, tiene una base esférica y el otro, el superior, una base rígida. El centro del asiento esférico debe coincidir con el centro del testigo que será colocado sobre él. El asiento esférico debe estar siempre lubricado con aceite mineral o grasa de manera que gire libremente sobre su base.

Preparación de testigos (ASTM D 4543)

- Los testigos deben ser cilindros rectos circulares con una relación longitud- diámetro (L/D) entre 2 y 2.5. Deberá tener un diámetro mayor de 47mm, cuando se cuente con testigos de menor diámetro como sucede en minería se deberá reportar en el informe
- La superficie cilíndrica del testigo debe ser lisa y sin irregularidades abruptas, con todos sus elementos paralelos entre sí, sin una desviación mayor a 0.5
- Las bases deben ser paralelas entre sí, sin una desviación mayor a 0.025 mm y perpendiculares al eje longitudinal del cilindro, sin una desviación mayor a 0.25°
- Para lograr el paralelismo de las bases se emplea una máquina refrendadora.
- No se permiten testigos que estén cubiertos con algún material o que tengan algún tratamiento superficial.
- El diámetro debe ser medido con aproximación a 0.1 mm y debe ser el promedio de la medida de dos diámetros perpendiculares entre si y tomadas en la parte media del testigo.
- La altura debe ser tomada con aproximación a 0.1 mm y debe ser tomada al centro de las bases.
- La condición de humedad del testigo puede tener un efecto significativo en la resistencia que pueda alcanzar la roca. Los testigos no deben ser almacenados por más de 30 días y se debe tratar de conservar las condiciones de humedad natural del testigo hasta el momento del ensayo.
- El número de testigos a ensayar depende de la disponibilidad de estos. Se recomienda ensayar por lo menos 3 testigos de cada muestra de roca, para poder tener un resultado estadísticamente confiable.

5. Procedimientos:

- Asegurar que el asiento esférico pueda girar libremente sobre su base.
- Limpiar las caras de los bloques superior e inferior y del testigo.
- Colocar el testigo sobre el asiento inferior. La carga y asiento superior se acercan hacia el testigo gradualmente hasta que se obtienen un asentamiento uniforme de la carga sobre el testigo.



- Muchos tipos de roca fallan por compresión de manera violenta. Una malla protectora se coloca alrededor del testigo para prevenir posibles daños al volar los fragmentos de roca.
- La carga debe ser aplicada en forma continua con una razón constante de manera que la falla ocurra entre 5 y 10 minutos después de iniciada la carga.
- Registrar la carga máxima aplicada sobre el testigo.

Cálculos

El esfuerzo de compresión se obtiene dividiendo la máxima carga aplicada sobre el testigo durante el ensayo entre el área de la sección circular del testigo expresado en kgf/cnr o KPa. Si la relación (UD) es menor que 2 se hace una corrección al esfuerzo:

$$C = Ca / (0.88 + (0.24b/h))$$

C = resistencia corregida

Ca = resistencia ultima

b = diámetro del testigo

h - altura del testigo

6. Resultados

Se debe de especificar

- Nombre del proyecto, tipo de roca y lugar de procedencia de la muestra.
- Fecha de recepción de la muestra.
- Fecha de ejecución del ensayo.
- Número de testigos ensayados por muestra.
- Condición de la humedad de la muestra al momento del ensayo
- Número, longitud, diámetro, área, carga máxima, resistencia a la compresión y resistencia corregida si es necesario de cada testigo.
- Valor promedio de resistencia a la compresión de la muestra.
- Dibujo esquemático del tipo de falla de los testigos.

7. Conclusiones

El valor de resistencia a la compresión es utilizado para la clasificación del macizo rocoso, como dato en fórmulas de diseño y como una propiedad Índice para seleccionar la técnica de excavación apropiada

8. Sugerencias y /o recomendaciones

Realizar el trabajo de codificación y cálculos correctamente

Referencias bibliográficas consultadas y/o enlaces recomendados

- Brady, B., H.G., Brown, E.T. y Kluwer (1999). *Rock mechanics for underground mining*. Academic publishers.
- Gonzales Vallejo, L.I. (2002). *Ingeniería geológica*.
- ASTM D2938
- ISRM. Suggested method for determination of the uniaxial compressive strength of rock materials



Guía de práctica N° 2

Ensayo de tracción indirecta (Brasileño)

Sección :Docente:

Fecha :/...../..... Duración: 4 Horas

Instrucciones

Valores: puntualidad, responsabilidad, honestidad

Manipular los equipos, materiales y reactivos con: responsabilidad, seguridad, orden y limpieza

1. Propósito /Objetivo (de la práctica):

Este ensayo tiene por finalidad determinar el esfuerzo de tracción de una roca a través de la aplicación de una carga lineal de compresión sobre un diámetro del disco de roca a ensayar.

El esfuerzo de tracción debería ser obtenido de un ensayo de tracción uniaxial directa, pero este ensayo es difícil y caro de ser realizado repetidamente.

2. Fundamento Teórico

El esfuerzo máximo de compresión es definido como el esfuerzo necesario para producir la fractura del testigo cilíndrico. Se considera que la fractura ocurre cuando se produce una caída repentina en la aplicación de la carga, no siendo capaz el testigo de soportar incrementos de carga posteriores.

Para poder relacionar los ensayos es necesario uniformizar los resultados empleando testigos con una relación longitud diámetro (l/d) constante. Saint Venant estableció que en ensayos de testigos cilíndricos se produce una distribución de esfuerzos anómalos en una zona de longitud igual al diámetro del testigo medido a partir del área de aplicación o contacto de la carga por lo que recomendó el uso de testigos con relaciones l/d mayores o iguales a 2.

3. Equipos, Materiales y Reactivos

3.1. Equipos

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Equipo de carga Uniaxial	Medir RCP	1
2	Calibrador pie de rey (Vernier)	Manual	1
3			

**3.2. Materiales**

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	Rocas	Testigos	3
2			
3			
4			
5			

3.2. Reactivos

Ítem	Reactivo	Característica	Cantidad
1	Agua	Agua potable	3 Lt
2			
3			

4. Indicaciones/instrucciones:**Teoría**

En este ensayo, el disco de roca es sometido a una carga lineal de compresión actuando sobre un diámetro. El resultado de este esfuerzo de compresión es una tensión horizontal y un esfuerzo de compresión vertical variable.

Cerca de los bordes de contacto, los esfuerzos compresivos toman valores máximos, lo que puede causar un fracturan lento local. Esta anomalía se reduce empleando testigos con relación espesor." diámetro de D.5 y colocando un apoyo adicional entre la roca y los bloques de la máquina en los puntos de carga.

La fractura inicial producida sobre el testigo será el resultado del esfuerzo de tracción que ocurre en el centro del disco. Esta fractura es inducida, por lo que el resultado del esfuerzo a la tracción obtenida a partir de este ensayo será algo mayor del que se obtiene de un ensayo de tracción directa en donde el testigo tiene más opción a fallar por la zona de menor resistencia.

Equipo

- Máquina de ensayos. Una prensa que puede aplicar y medir la carga diametral sobre el testigo, con una capacidad de carga de 100 toneladas y que cumpla con los requerimientos de la Norma ASTM E4 y British Standard 1610.
- Apoyos suplementarios. Entre el testigo y los bloques de apoyo se colocan unos apoyos adicionales que permiten reducir la alta concentración de esfuerzos. Estos apoyos pueden ser pedazos de cartón grueso (0.01 D de espesor).

5. Procedimientos:

- Los testigos deben ser discos circulares con una relación espesor/diámetro entre 0.5 y 0.75.
- El diámetro del testigo debe ser por lo menos 10 veces mayor que el grano más grande del mineral que forma la roca. Un diámetro de 4.92 cm por ID general satisface este criterio. Cuando el diámetro es menor que el indicado y se deben ensayar pues no hay disponibilidad de material, se debe anotar este hecho en el informe.
- Se determinará el diámetro del testigo con una aproximación de 0.1 mm. Se tomará tres medidas y obtendrá el promedio. Una de las medidas debe ser tomada en el diámetro que se va ensayar.
- Se determinará el espesor del disco con aproximación de 0.1 mm. Se tomará tres medidas y obtendrá el promedio. Una de las medidas debe ser tomada en el eje del disco.



- La orientación vertical del testigo está determinada por el diámetro trazado en cada testigo, de manera que esta línea debe ser usada para centrar al testigo en la máquina de ensayos y asegurar una orientación apropiada.
- El testigo debe ser instalado en la máquina de ensayos asegurando que la carga sea aplicada sobre el diámetro trazado y que los apoyos adicionales coincidan también con la superficie de apoyo.
- Aplicar la carga normal con velocidad constante de manera que la falla se produzca entre 1 y 10 minutos luego de iniciar el ensayo dependiendo del tipo de roca.
- Registra el valor máximo de la carga aplicada sobre el testigo.

Cálculos

El esfuerzo de tracción indirecta del testigo se halla calculando como sigue:

$$\sigma_1 = \frac{2P}{\pi LD}$$

σ_1 = esfuerzo de tracción indirecta, MPa o kg/cm²

P = máxima fuerza aplicada sobre el testigo, kg

L = espesor del testigo, cm

D = diámetro del testigo, cm

6. Resultados

- Nombre del proyecto, tipo de roca y lugar de procedencia de la muestra.
- Fecha de recepción de la muestra.
- Fecha de ejecución del ensayo.
- Número de testigos ensayados por muestra.
- Condición de la humedad de la muestra al momento del ensayo
- Número, longitud, espesor, carga máxima, esfuerzo a la tracción de cada testigo.
- Valor promedio del esfuerzo a la tracción de la muestra.
- Esquema del tipo de falla de los testigos
- Observaciones

7. Conclusiones

El valor de esfuerzo a la tracción se utiliza para graficar el círculo de Mohr σ_a - σ_t en la envolvente de esfuerzos

8. Sugerencias y /o recomendaciones

Realizar el trabajo de codificación y cálculos correctamente

Referencias bibliográficas consultadas y/o enlaces recomendados

- Brady, B., H.G., Brown, E.T. y Kluwer (1999). *Rock mechanics for underground mining*. Academic publishers.
- Gonzales Vallejo, L.I. (2002). *Ingeniería geológica*.
- ASTM D 3967



Guía de práctica N° 3

Logueo geotécnico

Sección :Docente:

Fecha :/...../..... Duración: 4 Horas

Instrucciones

Valores: puntualidad, responsabilidad, honestidad

Manipular los equipos, materiales y reactivos con: responsabilidad, seguridad, orden y limpieza

1. Propósito /Objetivo (de la práctica):

El logueo geotécnico tiene por finalidad estimar la calidad de la roca y la resistencia del macizo a partir de perforaciones diamantinas (cores).

2. Fundamento Teórico

Las propiedades geotécnicas observadas están en relación con el esfuerzo del material, intensidad de las fracturas y condiciones generales del material intacto y de las discontinuidades.

El logueo se realiza para tramos más o menos constantes en estructura y fitología, al haber un cambio brusco, se debe anotar y realizar las anotaciones necesarias. Es importante hacer notar que los mejores datos pueden ser recolectados en el mismo lugar de perforación antes que el core sea cortado o se pierda información por un exceso de manipulación, de rajaduras o por la pérdida de agua.

Se utiliza un formato que luego será llevado a un plano en donde se puede delinear las diferentes zonas geotécnicas de acuerdo al logueo hecho para todos los taladros.

Los parámetros que debemos anotar son los siguientes:

3. Equipos, Materiales y Reactivos

3.1. Equipos

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Calibrador pie de rey (Vernier)	Describir testigos	1
2			
3			

3.2. Materiales

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	Rocas	Testigos	3
2			
3			
4			
5			



3.2. Reactivos

Ítem	Reactivo	Característica	Cantidad
1	Agua	Agua potable	3 Lt
2			
3			

4. Indicaciones/instrucciones:

Teoría

En este ensayo, el cilindro de roca es analizado tomando como criterios:

- Longitud
- Discontinuidades
- Orientación de discontinuidades
- Meteorización
- Alteración
- Relleno
- Otras características

Equipo

- Flexómetro
- Lupa
- Testigo de perforación diamantina.
- Prolactor.
- Flexómetro
- Picota
- Alfiler

5. Procedimientos:

5.1 Información básica del drillhole: Aquí se incluye el número del taladro, localización, orientación y tamaño del core (diámetro); esto es importante ya que se sabe que a mayor diámetro se obtendrá una mejor recuperación y se mostrarán mejor las estructuras geotécnicas. También incluiremos la profundidad del taladro que normalmente no es uniforme para todas las perforaciones y la longitud de la corrida (la cual es marcada por bloques de madera en las cajas).

También es relevante anotar los datos de la perforación como:

- Nombre del personal de campo.
- Número de trabajo.
- Nombre del cliente.
- Número de perforadora.
- Número de hoja de datos.
- Alguna medida del nivel de agua.

5.2 Litología: Se anota el nombre de la roca madre, usando código de tres letras. Si ésta cambia dentro de la corrida de un taladro, el contacto debe de hacerse notar en el formato que estamos llenando.

5.3 Recuperación de taladros: La recuperación es expresada como un porcentaje de la longitud total perforada vs. La longitud recuperada. La recuperación nos da un indicio de la calidad y



competencia de la roca. Una baja recuperación nos indicarla muy poca competencia, así como también podría ser un indicio de falla.

5.4 RQD: El RQD es definido como el porcentaje de taladro en cada corrida en el cual el espaciamiento entre fracturas naturales es mayor a 10 cm. Es importante diferenciar las roturas ocasionadas por la perforación, ya que éstas deben ser ignoradas en el cálculo. Si el esfuerzo no confinado de la roca es estimado en menor a 1 MP, entonces ya no se calcula el ROD, se coloca el valor de 0 (roca con dureza menor a R1)

Calidad de roca basada en el RQD

Porcentaje RQD	Calidad de roca
0-25	Muy pobre
25-50	Pobre
50-75	Media
75-90	Buena
90- 100	Excelente

5.5 Frecuencia de juntas: El número de juntas o fracturas en cada corrida, es anotado, con ello calcularemos la frecuencia de juntas. En rocas sedimentarias el número de juntas de estratificación también se anotará separadamente.

5.6 Condición de juntas: Para establecer éste parámetro, de la tabla de la clasificación de Bienawsky (1976) se considera un valor, dependiendo de las condiciones que observemos. La condición puede variar entre valores del 0-25 y se calcula para cada corrida.

5.7 Grado de rotura: El grado de rotura es una estimación visual y algo subjetiva de la calidad de la roca en donde se observan las fracturas o rompimiento. La clasificación adecuada se da mediante tabla o la ilustración fotográfica.

5.8 Grado de intemperismo: Las alteraciones presentes en la roca pueden ocasionar una reducción significativa en la competencia de la roca. Con ésta valuación se da una apreciación cualitativa de los efectos de los procesos naturales sobre la roca. Se utiliza la siguiente clasificación:

- A: Suelo residual, roca madre destruida.
- B: Completamente alterada/intemperada, suelo proveniente de la roca madre, aún quedan residuos de estructuras, pero la roca está destruida y terrosa.
- C: Altamente alterada, la roca está decolorada y el esfuerzo se ha reducido notablemente por el intemperismo.
- D: Moderadamente alterada. La roca está decolorada pero el esfuerzo sólo está ligeramente alterado, discontinuidades intemperizadas.
- E: Ligeramente alterada/intemperizada: El esfuerzo de la roca no cambia, sólo se presenta intemperismo sobre las juntas.



- F: Fresca e inalterada, la alteración puede ocasionar un aumento en la competencia de la roca (silicificación)

Se podrá utilizar el +/- para especificar en mayor detalle el grado de intemperismo observado (C+, C-, etc.)

5.9 Dureza: La clasificación de dureza está basada en exámenes mecánicos simples que pueden ser fácilmente ejecutados. Aquí utilizamos los dedos, navaja de bolsillo, picota de geólogo y una máquina portátil para ejecutar el ensayo de carga puntual, de acuerdo a la tabla anexada al final (field hardness classification) se identifica el grado de dureza mediante códigos alfanuméricos allí especificados.

5.10 Fotografía: Se toma una foto del core para guardarla en el archivo especialmente preparado para ello y que forma parte de la documentación del logueo ya que en muchos casos el core se descarta luego de haber hecho el logueo geológico y geotécnico.

6. Resultados

- Nombre del proyecto, tipo de roca y lugar de procedencia de la muestra.
- Fecha de recepción de la muestra.
- Fecha de ejecución del ensayo.
- Número de testigos ensayados por muestra.
- Condición de la humedad de la muestra al momento del ensayo
- Número, longitud, espesor, carga máxima, esfuerzo a la tracción de cada testigo.
- Valor promedio del esfuerzo a la tracción de la muestra.
- Esquema del tipo de falla de los testigos
- Observaciones

7. Conclusiones

El valor de esfuerzo a la tracción se utiliza para graficar el círculo de Mohr $\sigma_a - \sigma_t$ en la envolvente de esfuerzos

8. Sugerencias y /o recomendaciones

Realizar el trabajo de codificación y cálculos correctamente

Informe

Hacer una breve descripción acerca de los sistemas de clasificación de macizo rocoso, especialmente la clasificación de Laubscher.

Presentar el cuadro adjunto correctamente llenado con la nomenclatura correspondiente. El orden y limpieza serán evaluados.

Referencias bibliográficas consultadas y/o enlaces recomendados

- Brady, B., H.G., Brown, E.T. y Kluwer (1999). *Rock mechanics for underground mining*. Academic publishers.
- Gonzales Vallejo, L.I. (2002). *Ingeniería geológica*.
- ASTM D 3967
- ISRM. Suggested method for determining indirect tensile strength by the Brazil test.
- ISRM. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses.



Guía de práctica N° 4

Ensayo de compresión triaxial

Sección :Docente:

Fecha :/...../..... Duración: 4 Horas

Instrucciones

Valores: puntualidad, responsabilidad, honestidad

Manipular los equipos, materiales y reactivos con: responsabilidad, seguridad, orden y limpieza

1. Propósito /Objetivo (de la práctica):

Este ensayo determina la resistencia a la compresión de un testigo cilíndrico de roca en estado no drenado bajo una presión de confinamiento.

Nos provee de los valores necesarios para graficar la envolvente de esfuerzos (Mohr) y a partir de ésta calcular el valor del ángulo de fricción interna y la cohesión aparente de la roca.

Como sabemos la roca a profundidad se comporta en función de la presión de confinamiento existente en el terreno. El ensayo de compresión triaxial es comúnmente usado para simular las condiciones que existen en la masa rocosa subterránea.

2. Fundamento Teórico

En un ensayo de compresión triaxial la carga axial y su esfuerzo principal correspondiente simulan el esfuerzo principal mayor que actúa en la corteza (σ_1), mientras que la tensión radial producida por la presión hidráulica representa el esfuerzo principal menor σ_3 .

Cuando se indica un valor de resistencia a la compresión triaxial, habrá que mencionar necesariamente la presión de confinamiento (p) que se aplicó durante el ensayo. Para encontrar una relación entre $\sigma_1 = f(\sigma_3)$, donde σ_3 es la presión de confinamiento y σ_1 la resistencia a la compresión triaxial, habrá que realizar varios ensayos, en cada uno de los cuales se aplicarán diferentes presiones de confinamiento.

Cada par de valores σ_1 y σ_3 sirven para construir dos tipos de gráficos. El primer tipo representa el lugar geométrico de la relación existente entre σ_1 y σ_3 (figura 1). El segundo tipo de gráfico nos permite construir los círculos de Mohr en los ejes σ - τ para luego trazar la envolvente de Mohr (figura 2).



3. Equipos, Materiales y Reactivos

3.1. Equipos

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Calibrador pie de rey (Vernier)	Describir testigos	1
2			
3			

3.2. Materiales

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	Testigos Rocas	Testigos	3
2			
3			
4			
5			

3.2. Reactivos

Ítem	Reactivo	Característica	Cantidad
1	Agua	Agua potable	3 Lt
2			
3			

4. Indicaciones/instrucciones:

Teoría

Este ensayo representa las condiciones de las rocas in situ sometidas a esfuerzos confinantes, mediante la aplicación de presión hidráulica uniforme alrededor de la probeta.

Permite determinar la envolvente o línea de resistencia del material rocoso ensayado a partir de la que se obtienen los valores de sus parámetros resistentes cohesión (c) y ángulo de fricción (ϕ).

Las ventajas de este ensayo son que se pueden usar muestras de roca irregulares sin preparación previa alguna y que la maquina es portátil.

Equipo

El equipo consiste de tres partes: Una celda triaxial, un equipo de carga y un equipo para generar presión de confinamiento.

Celda triaxial {figura 3):

- El cuerpo de la celda debe tener dos conexiones: uno para la entrada del aceite y otro para la salida del aire.
- Una chaqueta impermeable y flexible de caucho que debe tener el mismo diámetro que el del testigo. El testigo quedará dentro de la chaqueta totalmente rodeado por el aceite sin que éste penetre en la roca.
- Dos platinas con asientos esféricos y dureza Rockwell 58 HRC se colocan a ambos lados del testigo. El diámetro de las platinas será de D y el espesor de por lo menos $D/3$ donde D es el diámetro del testigo.

Equipo para aplicar y medir la carga axial

- Una prensa que puede aplicar y medir la carga axial sobre el testigo, con una capacidad de carga de 100 toneladas y que cumpla con los requerimientos de la Norma ASTM E4 y British Standard 1610.
- El bloque de asiento esférico de la máquina debe ser retirado. Las caras de carga de la máquina deben estar paralelas entre sí.
- Equipo para generar y medir la presión de confinamiento
- Una bomba hidráulica capaz de mantener constante la presión de confinamiento (03) con no más de) 2% de desviación del valor deseado.



- Un manómetro que permite observar y registrar que la presión de confinamiento se mantenga constante.

Preparación de testigos

- Los testigos deben ser cilíndricos circulares con una relación longitud-diámetro (UD) entre 2 y 2.5. La relación entre el diámetro del testigo y el diámetro del grano más grande de la roca debe ser como mínimo de 10 a 1.
- La superficie del testigo debe ser lisa y libre de irregularidades abruptas, con todos sus elementos alineados sin desviarse más de 0.5 mm a lo largo del testigo.
- Las bases deben ser paralelas entre sí, sin desviarse más de 0.025 mm y perpendiculares con respecto al eje longitudinal del cilindro sin apartarse más de 0.05 mm en 50 mm.
- No se permiten testigos que estén cubiertos con otro material o que tengan algún tratamiento superficial diferente al de la máquina refrendadora.
- El diámetro debe ser medido con aproximación a 0.1 mm y ser el promedio de las medidas de dos diámetros perpendiculares entre sí y tomadas en tres partes del testigo: superior, medio, inferior.
- La altura debe ser tomada con aproximación al mm.
- La condición de humedad del testigo puede tener un efecto significativo en la resistencia que pueda alcanzar la roca. Los testigos no deben ser almacenados por más de 30 días. Una buena práctica es tratar de conservar las condiciones de humedad natural del testigo hasta el momento del ensayo.
- El número de testigos a ensayar depende del número de las diferentes presiones de confinamiento con las que se desea ensayar.

5. Procedimientos:

- 5.1 La celda es ensamblada con el testigo instalado en la chaqueta y entre las platinas. El testigo, las platinas y los asientos esféricos deben estar alineados entre sí. Los asientos esféricos estarán ligeramente lubricados con grasa o aceite.
- 5.2 La celda triaxial se llena con aceite permitiendo que el aire salga por la conexión de escape. Nos aseguramos que la chaqueta no tenga fisuras ni huecos en de cada ensayo, de manera que el aceite no penetre en el testigo.
- 5.3 La celda se instala en el equipo de aplicación de carga normal.
- 5.4 Se establece la presión de confinamiento en el nivel predeterminado y se mantiene constante, entonces se aplica la carga normal. El máximo valor de carga axial y su correspondiente presión de confinamiento se registran.
- 5.5 Se repite el procedimiento para otro valor de presión de confinamiento.
Cálculos
- 5.6 La resistencia a la compresión (σ_c) se calcula dividiendo el máximo valor de la carga aplicada al testigo y el área del sector transversal del testigo.
- 5.7 Las presiones de confinamiento con sus correspondientes valores máximos de resistencia a la compresión se grafican; el valor de presión de confinamiento en las abscisas y el valor de resistencia a la compresión en las ordenadas (figura 1).
- 5.8 Se unen los puntos con una línea que para consideraciones prácticas será una recta caracterizada por su pendiente "m" y su ordenada en el origen "b"
- 5.9 Con m y b obtenemos el ángulo de fricción ϕ y el valor de cohesión aparente C usando:



$$\theta = \arcsin \left(\frac{m-1}{m+1} \right)$$

$$C = b \left(\frac{1 - \sin \theta}{2 \cos \theta} \right)$$

Una forma más directa de hallar θ y C es graficar la envolvente de los círculos de Mohr: d_i y 0.1 en las abscisas y la resistencia al corte en las ordenadas (figura 2). También será necesario el valor de fracción indirecta y compresión simple. Luego se traza una recta tangente a los círculos. El ángulo que forma esta recta con el eje de las abscisas será el valor de θ y la intersección de la recta con el eje de las ordenadas será el valor de C .

. Resultados

- Nombre del proyecto, tipo de roca y lugar de procedencia de la muestra.
- Fecha de recepción de la muestra.
- Fecha de ejecución del ensayo.
- Número de testigos ensayados por muestra.
- Condición de la humedad de la muestra al momento del ensayo
- Número, longitud, espesor, carga máxima, esfuerzo a la tracción de cada testigo.
- Valor promedio del esfuerzo a la tracción de la muestra.
- Esquema del tipo de falla de los testigos
- Observaciones

7. Conclusiones

El valor de esfuerzo a la tracción se utiliza para graficar el círculo de Mohr $\sigma_a - \sigma_t$ en la envolvente de esfuerzos

8. Sugerencias y /o recomendaciones

Realizar el trabajo de codificación y cálculos correctamente

Informe

Nombre del proyecto, tipo de roca y lugar de procedencia de la muestra.

Fecha de recepción de la muestra.

Fecha de ejecución del ensayo.

Número de testigos ensayados.

Condición de la humedad de la muestra al momento del ensayo

Número, longitud, diámetro, área, carga máxima, resistencia a la compresión TRIAXIAL y presión de confinamiento.

Gráfico c vs. θ ó Círculos de Mohr.

Los valores de C y θ junto con el rango de presiones en el que son válidos.

Dibuja esquemático del tipo de falla.



Referencias bibliográficas consultadas y/o enlaces recomendados

- Brady, B., H.G., Brown, E.T. y Kluwer (1999). *Rock mechanics for underground mining*. Academic publishers.
- Gonzales Vallejo, L.I. (2002). Ingeniería geológica.
- ASTM D 3967
- ISRM. Suggested method for determining indirect tensile strength by the Brazil test.
- ISRM. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses.



Guía de práctica N° 5

Clasificación geomecánica y métodos de sostenimiento

Sección :Docente:

Fecha :/...../..... Duración: 4 Horas

Instrucciones

Valores: puntualidad, responsabilidad, honestidad

Manipular los equipos, materiales y reactivos con: responsabilidad, seguridad, orden y limpieza

Objetivo

Se plantea analizar en el campo una situación real; para lo cual el alumno deberá efectuar una clasificación geomecánica de la roca y sobre la base de los diversos criterios de diseño existente, se determinará el tipo de sostenimiento requerido.

Durante la visita de campo se discutirá y analizará la influencia de la sección de la excavación, tiempo de autoaporte, influencia de las discontinuidades, interacción roca- sostenimiento y procedimiento constructivo (operaciones unitarias).

Evaluación

La evaluación será de la siguiente manera: Cada alumno hará una exposición sobre un tema que se le asigne (8 puntos). Presentarán un informe con los resultados y análisis de los datos obtenidos (12 puntos).

Teoría

1. Clasificaciones Geomecánica.

1.1. Índices RMR (Rock Mass Rating).

Esta clasificación toma en cuenta los siguientes parámetros:

1.3. Índice G.S.I. (Geological Strength Index)

Este índice ha sido introducido como un equivalente del RMR para que sirva como un medio de incluir la información geológica en la aplicación del criterio de falla generalizada de Hoek • Brown, especialmente para rocas de mala a muy mala calidad (muy alterada y con elevado contenido de tinos).

En la determinación del G.S.I. el primer paso a seguir es, definir en forma empírica la resistencia y deformabilidad de la masa rocosa, basándose en las condiciones estructurales (grado de fracturamiento) y de superficie (alteración, toma de fracturas, relleno), según apreciaciones de campo.

La clasificación según su estructura varía de:

- Levemente fracturada (LF)



- Fracturada (F)
- Muy fracturada (MF)
- Intensamente fracturada (IF)
- Triturada (T)

La clasificación según sus condiciones superficiales varía de:

- > Muy buena (MB)
- > Buena (B)
- > Regular (R)
- > Pobre (P)
- > Muy pobre (MP)

Su aplicación permite obtener una clasificación geológica muy simple como, por ejemplo: fracturada, regular (F/R) o muy fracturada, muy pobre (MF/MP) y mediante la tabla de Ábacos del G.S.I. relacionar a esa descripción con los valores aproximados de los Índices RMR o Índice 0.

Ver cuadros 4, 5, 6 y 7

2. Descripción de los Diferentes Tipos de Sostenimiento

2.1. Pernos de Anclaje.

Se utilizan para impedir la desintegración de la roca, reduciendo sus desplazamientos. De esta manera la roca adyacente a la excavación se transforma en un elemento activo del sistema de soporte y virtualmente conforma un arco auto soportante, al sumarse los efectos de pernos adyacentes.

- En roca homogénea competente el papel principal de los pernos es resistir los desprendimientos de bloques o placas en puntos críticos, los cuales pueden ser vitales para evitar la desintegración del terreno, (control de bloques o cuñas inestables).
- En roca estratificada competente los pernos ayudan a resistir el desplazamiento relativo entre estratos, aumentando la rigidez de la viga compuesta y creando ligazón entre bloques, (control de losas inestables)
- En roca incompetente el apernado confiere nuevas propiedades a la roca que rodea la excavación, de modo que modifica su comportamiento y en particular aumenta su cohesión, (control de sección inestable).

Tipos de Pernos.

Pernos Swellex de T y 101

Son pernos de acero plegado que trabajan a fricción y son inflados con agua a presión, otorgándole a la roca una mayor consolidación y adecuándose a sus movimientos iniciales u originados por voladuras cercanas.

Pernos Splil-Set 7"y 10").

Son pernos de acero ranurado que es introducido a presión y trabajan por fricción en las paredes del taladro; se acomodan a las deformaciones iniciales de la roca, pero son muy sensibles al diámetro del taladro y a sus irregularidades.



Pernos de Cabeza Expansiva.

Son pernos que trabajan a tensión, ajustando capas de roca débil a una capa competente. Estos pernos pueden reforzarse cementándolos posteriormente, lo que 'congela' la tensión aflorada y los protege contra la corrosión de largo plazo.

Pernos Cementados con Resina o con Inyección de Cemento.

Son pernos consistentes en varillas de fierro corrugado, asegurados a la roca con resina o inyección de cemento; son muy dependientes de la forma del taladro y se requiere que estén completamente llenados para que se comporten adecuadamente.

2.2. Malla de Refuerzo.

Se utiliza para evitar la caída de fragmentos en el área sin influencia de los pernos; puede ser de acero galvanizado (malla de gallinero) fácilmente moldeable a la forma de la excavación, de fierro electro-soldado que presenta mayor rigidez, o de fierro corrugado de 1/4". La abertura de la malla corresponde al tamaño de los fragmentos que se requiera confinar, pudiendo ser de 5.0 x 5.0 cm. hasta 10.0 x 10.0 cm.

2.3. Concreto Lanzado (Shotcrete) con/sin Fibra.

El principio del shotcrete, al igual que el del empernado, es impedir las deformaciones del terreno para conservar su resistencia y evitar su desintegración. De allí que el shotcrete no es un elemento estructural soportante, sino una técnica de confinamiento de la roca para evitar su desintegración; por lo tanto, debe ser colocado en el momento oportuno y con la rigidez adecuada.

Sus mecanismos principales son:

- Adherencia al terreno desarrollando resistencia al corte y a la tracción.
- Penetración y sello de grietas y discontinuidades abiertas mejorando su resistencia y aumentando la adherencia de la capa de shotcrete.
- Permitir deformaciones plásticas de la roca durante su proceso de fraguado.

Su aplicación neumática permite un alto grado de compactación con una relación agua/cemento relativamente baja (0.30 • 0.50), con un tamaño máximo de agregado de 30.0 mm. y una cantidad de cemento de 300 a 400 kcy'm³, pudiendo usarse acelerantes de fragua no mayor del 4% en peso, correspondiente con la cantidad de cemento a utilizar. Para aumentar su resistencia a la tracción, flexión y corte se agregará fibras metálicas.

Definiciones

El concreto lanzado a utilizar será por vía seca, salvo una mejor propuesta del uso por vía húmeda, con una relación agua cemento de 0.45, 420 kg/m³ de cemento (10 bolsas); agregados 1700 kg/m³, 40 k^Λm³ de libra, 17 kg.'m³ de acelerante y con un slump de 15 a 18 cm., con una resistencia mínima de 150 kg:cm² a los 7 días, 210 kg'cm² a los 14 y 350 kg/cm² a los 28 días. Se colocará en espesor mínimo de 2", vacíos mínimos del 15%. y densidad seca de 2275 kg/m³.



Mezclado y Almacenamiento.

Para los agregados se evitará su humedecimiento y éstos deben cumplir con las especificaciones para agregados de concreto (ASTM C-33) y la gradación de agregados finos y gruesos combinados será lo siguiente:

MALLA	% QUE PASA	MALLA	% QUE PASA
1/2"	100	16	35 – 55
3/8"	90 – 100	30	20 – 35
4	70 – 85	50	8 – 20
8	50 – 70	100	2 – 10

Estos agregados estarán limpios, silicosos, resistentes a la abrasión, rugosos, libres de polvo, como también de micas, esquistos, arcillas, materias orgánicas y sales.

- El cemento se almacenará en estantes metálicos, en rumas no mayores de 10 bolsas, debiendo estar protegidas de humedad.
- Bolsa de fibras metálicas, se almacenará igual que el cemento.
- De acuerdo a la distribución de la planta se almacenará los agregados finos, grueso y el cemento, utilizando el cargador frontal para el manipuleo, carga de materiales y mezcla.
- Deberá tenerse una criba para eliminar el material grueso mayor de 1/2" y luego en la dosificación se usarán carretilas, donde previamente se haya determinado el volumen.
- Durante el mezclado, la libra metálica será de 40 kg/m³ y deberá tenerse cuidado al agregar el acelerante (máximo 4.0 gls/m³) dependiente de la densidad del mismo debido a que una mayor cantidad podrá generar que se obtenga una menor resistencia del concreto a los 28 días y ésta pueda seguir disminuyendo, lo cual es muy perjudicial.

En el traslado de la mezcla hacia interior mina y el manipuleo de la misma, se deberá evitar que se humedezca y/o contamine, por lo cual los vehículos deberán contar con una tolva de protección.

Cimbras Metálicas.

En operaciones mineras es común emplear el sostenimiento con vigas de acero de sección H, en casos en los cuales el macizo rocoso está sometido a una extensa y progresiva fracturación y desprendimiento por las cargas in situ, además de los esfuerzos inducidos por la explotación. Todo esto causa en la corona de la excavación, masas de roca muy suelta que requieren ser sostenidas, o también extensos movimientos de terreno debido a tensiones de campo no hidrostáticas (p.e. tensiones tectónicas)

En ambos casos se requiere un sostenimiento con alta resistencia al cierre, a la vez que una capacidad de deformación no destructiva, para un control efectivo y seguro de tales condiciones del terreno. Esto es satisfecho por el acero debido a su excelente resistencia mecánica y propiedades de deformación y, en particular, a su capacidad para admitir una deformación plástica.

El comportamiento del sostenimiento de acero de sección H depende no sólo de su sección transversal, sino también del tipo y colocación de los elementos auxiliares utilizados en su construcción, tales como: placas o barras de unión, zapatas, codales, etc.

En los siguientes puntos se detallarán sus características, tipos y formas de utilización para un mejor desempeño del sistema de sostenimiento.



Para que este tipo de sostenimiento funcione bien, debe cumplirse las siguientes condiciones:

- Suficiente longitud de deslizamiento en las uniones, no menor de 40 cm.
- Riguroso paralelismo de los elementos.
- Adecuada adaptación a las paredes, caso contrario los elementos flexionarán hacia el exterior.
- Resistencia conveniente del conjunto, que depende de las uniones. Instalación y control.
- Estrecho o apretado contacto entre la cimbra y el contorno de roca al cual soporta, en todo su perímetro, a fin de desarrollar tempranamente su capacidad de sostenimiento, antes de que ocurran deformaciones significativas hacia el interior de la excavación.

Cuadros de Madera

a) Definición

Son básicamente armazones de madera, cuyos elementos están unidos entre sí por destajes (espigas) o por elementos exteriores de unión (topes), formando una sólida estructura, resistente principalmente a esfuerzos de compresión. Sus cuatro elementos básicos son:

1. Dos postes
2. Un sombrero
3. Dos tirantes
4. Una solera

b) Tipos de Cuadro.

1. Cuadro Recto: Es el tipo sencillo; consta de un sombrero soportado por dos postes verticales, los cuales también resisten los empujes laterales de las cajas. Su principal ventaja es su simpleza, su fácil preparación e instalación y ofrece un buen sostenimiento en terrenos medios.
2. Cuadro Cónico: Cuando las presiones del techo son importantes se reduce la longitud del sombrero, inclinando los postes; el cuadro tiene entonces una forma trapezoidal, distribución muy conocida en la minería peruana.

C) Espaciamiento de Cuadros.

La longitud de los tirantes determina la distancia entre cuadros de la labor.

El espaciamiento depende principalmente de la clase de terreno de que se trate. A manera de guía solamente, daremos las distancias siguientes:

Existen dos tipos generales de cuadros de madera.

- Terreno Fracturado : 6 a 5 pies
- Terreno Quebrado : 4 a 3 pies
- Terreno Molido y Arcilloso : 3 a 2 pies