

LABORATORIO 1: RESISTENCIA Y PARÁMETROS RESISTENTES

El comportamiento mecánico de las rocas está definido por su resistencia y su deformabilidad. La **resistencia** es el esfuerzo que soporta una roca para determinadas deformaciones. Cuando la resistencia se mide en probetas de roca sin confinar se denomina **resistencia a compresión simple**, y su valor se emplea para la clasificación geotécnica de las rocas, en la tabla 1 se incluyen los valores típicos de este parámetro para diferentes tipos de roca. Se obtiene mediante el ensayo de resistencia uniaxial o de compresión simple.

La resistencia es función de las fuerzas cohesivas y friccionales del material (además de otros valores extrínsecos al material rocoso). La **cohesión**, c , es la fuerza de unión entre las partículas minerales que forman la roca. El **ángulo de fricción interna**, ϕ , es el ángulo de rozamiento entre dos planos de la misma roca, para la mayoría de las rocas éste ángulo varía entre 25° y 45° .

La resistencia de la roca no es un valor único, ya que además de los valores c y ϕ , depende de otras condiciones, como la magnitud de los esfuerzos confinantes, la presencia de agua en los poros o la velocidad de aplicación de la carga de rotura. También, incluso en rocas aparentemente isótropas y homogéneas, los valores de c y ϕ pueden variar según el grado de cementación o variaciones en la composición mineralógica.

En la tabla 2 se incluyen valores característicos de la cohesión y ángulo de fricción de la matriz rocosa. Ambos parámetros se determinan a partir del **ensayo de compresión triaxial** de laboratorio.

Tabla 1: Valores de resistencia de la matriz rocosa sana

roca intacta	resistencia a compresión simple (Mpa)	
	valores medios	rango de valores
Andesita	210-320	100-500
Anfibolita	280	210-530
Anhidrita	90	80-130
Arenisca	55-140	30-235
Basalto	150-215	80-350
Caliza	80-140	60-200
Cuarcita	200-320	100-500
Diabasa	240-350	130-365
Diorita	180-245	120-335
Dolerita	200-300	100-350
Dolomía	90-250	65-350
Esquisto	50-60	20-160
Gabro	210-280	180-300
Gneiss	160-200	85-250
Granito	170-230	100-300
Grauvaca	180	80-220
Limolita		35-250
Lutita	30-70	10-100
Marga	70-140	70-190
Mármol	120-200	60-250
Pizarra	100-180	90-250
Sal	12	5-30
Toba		10-46
Yeso	25	10-40

Datos seleccionados a partir de Rahn (1986), Walther (1999), Obert y Duvall (1967), Farmer (1968).

Tabla 2: Valores típicos de c y ϕ para roca intacta

roca	Cohesión (Mpa)	Ángulo de fricción ($^\circ$)
Andesita	28	45
Arenisca	8-35	30-50
Basalto	20-60	48-55
Caliza	5-40	35-50
Caliza margosa	1-6	30
Cuarcita	25-70	40-55
Diabasa	90-120	40-50
Diorita	15	50-55
Dolomía	22-60	25-35
Esquisto	25 20-15*	25-30* 20-30*
Gabro	30	35
Gneiss	15-40	30-40
Granito	15-50	45-58
Grauvaca	6-10	45-50
Mármol	15-35	35-45
Lutita	3-35	40-60 12-25*
Pizarra	10-50 <10*	40-55 15-30*
Toba	0,7	
Yeso		30

(*) En superficies de laminación o esquistocidad

Datos seleccionados a partir de Walther (1999), Rahn (1986), Goodman (1989), Farmer (1968), Jiménez Salas y Justo Alpañés (1975)

Ensayo uniaxial o de compresión simple

Generalidades

Este ensayo permite determinar en el laboratorio la resistencia uniaxial no confinada de la roca, o resistencia a la compresión simple, σ_c . Es un ensayo para la clasificación de la roca por su resistencia. La relación entre los esfuerzos aplicados en el ensayo es:

$$\sigma_1 \neq 0; \sigma_2 = \sigma_3 = 0.$$

En este ensayo se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Razón Largo/Ancho de la probeta debe ser 2.5 a 3.0:1
- Extremos deben ser paralelos y pulidos, sin grietas.
- Ancho de muestra debe ser >10 veces el tamaño medio del grano.

El ensayo trata de la aplicación gradual de una fuerza axial a un cilindro de roca, hasta que se produce su rotura, los datos obtenidos son: σ_1 obtenido del ensayo, σ_2 , σ_3 . Con estos datos se puede obtener σ_c (resistencia a la compresión simple)

Procedimiento

1. Concebir una idea general de la roca en cuanto a su litología y estructuras.
2. Identificar las muestras.
3. Medir las dimensiones de la muestra para validar si satisface las condiciones del ensayo.
4. Se recubre la muestra con una membrana cuyo fin será el de evitar que al momento de fallar la roca no salten fragmentos y dañen a personas u objetos de alrededor.
5. Se sitúa el testigo de tal forma que el pistón de la máquina quede paralelo a las caras transversales de la muestra.
6. Una persona se encarga de medir la presión a la cual esta siendo sometida la muestra mediante un manómetro conectado directamente a la prensa hidráulica, la presión debe ser medida a cada instante ya que al momento de fallar, la aguja que indica el valor de la carga vuelve al punto de partida.
7. Una segunda persona será la encargada de ir aumentando paulatinamente la presión en la prensa hidráulica.
8. Una vez falle el testigo se retira y se analizan las condiciones y modo de ruptura.

Ensayo de compresión triaxial

Generalidades

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). La relación entre los esfuerzos aplicados a la probeta es:

$$\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3 \neq 0.$$

En este ensayo se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Razón Largo/ancho de la probeta debe ser 2.0 a 2.5:1
- Extremos deben ser paralelos y pulidos, sin grietas.
- Ancho de muestra debe ser >10 veces el tamaño medio del grano.

Procedimiento

1. Concebir una idea general de la roca en cuanto a su litología y estructuras.
2. Identificar las muestras.
3. Medir las dimensiones de la muestra para validar si satisface las condiciones del ensayo.
4. Se recubre la muestra con una membrana impermeable cuyo fin será el de evitar el líquido usado para generar la presión de confinamiento no penetre en el testigo.
5. Se sitúa el testigo dentro de una cámara que será la encargada de mantener la muestra a una presión de confinamiento determinada, esta se encuentra conectada con prensa hidráulica manipulada por el encargado de laboratorio cuyo único fin es inyectar líquido hidráulico a la cámara y de esta forma fijar la presión de confinamiento ($\sigma_2 = \sigma_3$).
6. Una persona se encarga de medir la presión a la cual esta siendo sometida la muestra mediante un manómetro conectado directamente a la prensa hidráulica, la presión debe ser medida a cada instante ya que al momento de fallar, la aguja que indica el valor de la carga vuelve al punto de partida.
7. Una segunda persona será la encargada de ir aumentando paulatinamente la presión en la prensa hidráulica.
8. Una tercera persona en este caso el encargado del laboratorio se dedica a regular la presión confinante manteniéndola constante durante todo el ensayo, esta presión puede ser cualquiera sin embargo es recomendado ir aumentándola de forma progresiva dependiendo de la respuesta de la roca durante los ensayos.
9. Una vez falle el testigo se retira y se analizan las condiciones y modo de ruptura.

Finalmente usando los datos obtenidos en el ensayo de compresión triaxial se puede conocer el ángulo de fricción y la cohesión de la roca intacta mediante el criterio de falla de Mohr - Coulomb.

Ensayo de Carga Puntual

Generalidades

El ensayo de carga puntual se utiliza para determinar la resistencia a la compresión simple de fragmentos irregulares de roca, testigos cilíndricos de sondajes o bloques, a partir del **índice de resistencia a la carga puntual** (I_s), de tal forma que el stress aplicado se convierte a valores aproximados de UCS, según el diámetro de la muestra. El procedimiento consiste en romper una muestra entre dos puntas cónicas metálicas accionadas por una prensa.

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

Procedimiento

1. Concebir una idea general de la roca en cuanto a su litología y estructuras.
2. Identificar las muestras.
3. Medir las dimensiones de la muestra.
4. Dependiendo del tipo de muestra (ver figura 1), se sitúa el testigo entre las puntas cónicas de la máquina, resguardando que se cumplan las configuraciones de carga y requerimientos de forma del testigo.
5. Se recubre la máquina con una bolsa resistente cuyo fin será el de evitar que al momento de fallar la roca no salten fragmentos y dañen a personas u objetos de alrededor.
6. Una persona se encarga de medir la presión a la cual esta siendo sometida la muestra mediante un manómetro conectado directamente a la prensa hidráulica.
7. Una segunda persona será la encargada de ir aumentando paulatinamente la presión en la prensa hidráulica.
8. Una vez falle el testigo se retira y se analizan las condiciones y modo de ruptura (figura 2).

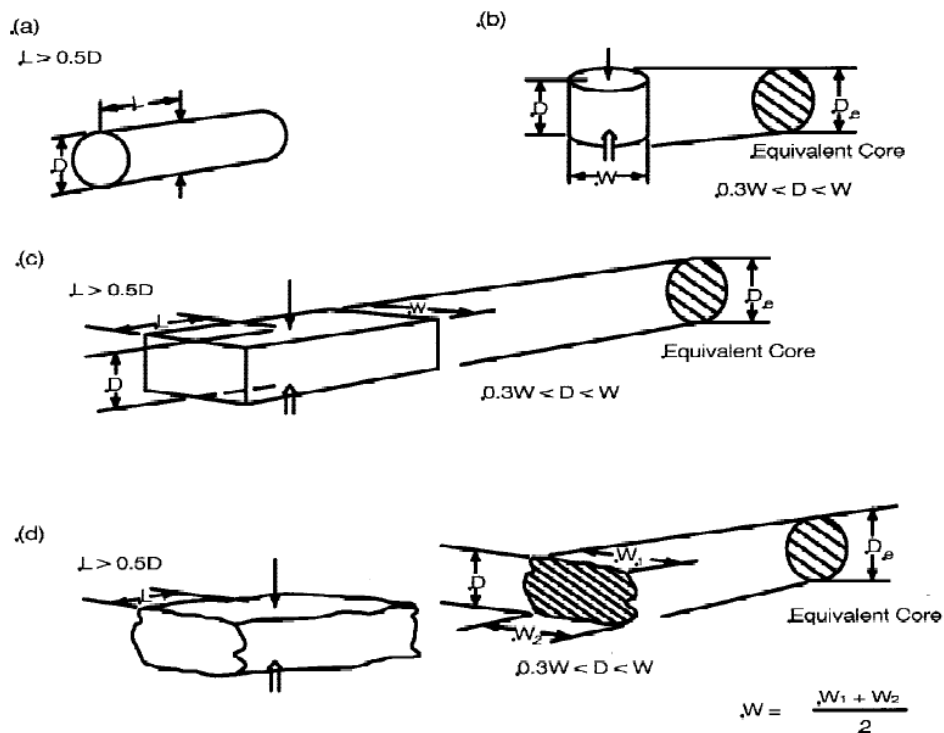


Figura 1: Configuración de carga y requerimientos en la forma de los testigos (a) muestra diametral, (b) muestra axial, (c) bloque y (d) muestra irregular. L = largo, W = ancho, D = diámetro, y D_e = diámetro del núcleo equivalente

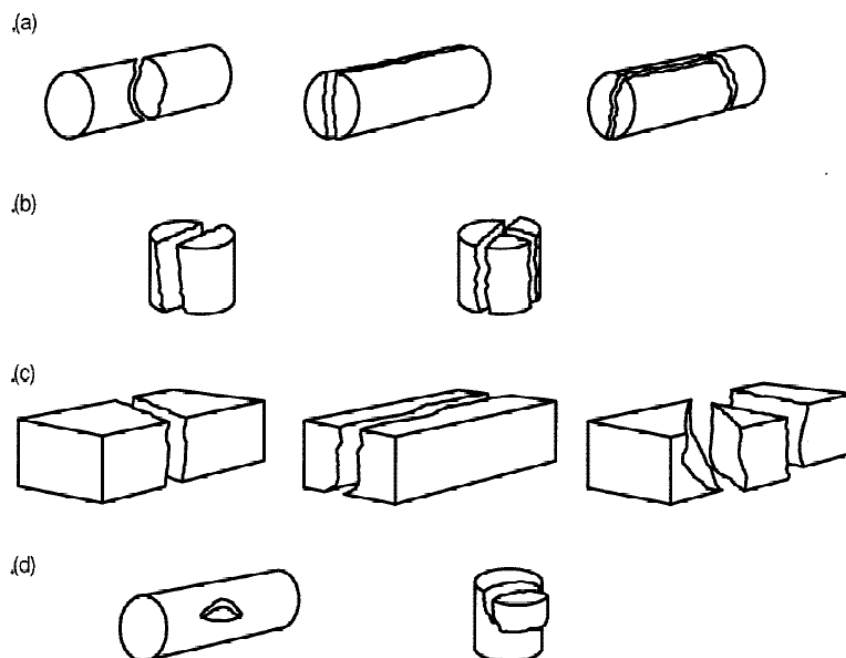


Figura 2: Modos típicos de falla para muestras válidas e inválidas (a) muestras diametrales válidas; (b) muestras axiales válidas; (c) bloques válidos; (d) muestras inválidas.

Cálculo

El índice de carga puntual sin corrección se calcula de la siguiente manera:

$$I_s = \frac{P}{D e^2} \text{ MPa}$$

Donde:

P = carga de falla, N, (Debido a que la presión se realiza a través de puntas cónicas, es necesario realizar una corrección, la cual es: P = valor medido en la máquina * 14.426 cm²)

De = diámetro del núcleo equivalente = D para muestras diametrales (ver figura 1), m, y es dada por:

$D e^2 = D^2$ para muestra diametrales, mm², o

$D e^2 = 4A/\pi$ para muestras irregulares, axiales o bloques, mm²;

Donde:

A = WD = área de la sección transversal mínima (ver figura 1)

Corrección

I_s varía en función de D en muestras diametrales, y en función de De en muestras axiales, irregulares y bloques.

El índice de resistencia a la carga puntual corregido [$I_{s(50)}$] es definido como el valor de I_s medido en muestras diametrales con D=50mm.

Cuando se tienen muestras de variados diámetros distintos a 50mm, se debe plotear P vs $D e^2$ en un gráfico log-log, y con una regresión lineal se puede determinar el valor de $I_{s(50)}$.

El valor promedio de $I_{s(50)}$ se calcula eliminando los 2 valores más altos y los 2 valores más bajos de 10 o más ensayos validos. Si pocos especímenes son testeados, solamente el valor más alto y más bajo se descarta y se promedian el resto.

El valor de la resistencia a la compresión uniaxial a partir del $I_{s(50)}$ es el siguiente:

$$UCS = 23 * I_{s(50)}$$

Cuando se tiene un I_s corregido a un diámetro distinto de 50 mm, la relación entre UCS e I_s es distinta (figura 3).

Core Size, mm	Value of "C" (Generalized)
20	17.5
30	19
40	21
50	23
54	24
60	24.5

Figura 3 Valor generalizado de C. $UCS = C * I_s$

Recomendaciones

Para la realización de los cálculos de c y ϕ se puede usar el software RocLab de Rocscience. Si ocupan este programa, el valor del GSI debe ser de 100, ya que se pretende obtener los valores de roca intacta y no del macizo rocoso. Recuerden que el GSI es una medida del macizo rocoso, por lo tanto para determinar valores de roca intacta lo más certero es ocupar un $GSI=100$.

Verifiquen si se cumplen los requisitos de los ensayos.

Comparen los datos obtenidos con la bibliografía asociada a roca intacta, para saber si sus datos son fiables.

Comparen el valor de UCS obtenido mediante el ensayo de carga puntual con el obtenido mediante el ensayo de compresión uniaxial. Discutan y determinen que valor es más fidedigno.

Referencias

Libro Ingeniería Geológica de Luis I González Vallejo. 2002.