

CORRELACIÓN ENTRE LA DEFORMACIÓN Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ROCAS: UN DIAGNÓSTICO DE CAMPO

Feijoo Patricio, Román Michelle.
pfeijoo@uazuay.edu.ec
michelle96@es.uazuay.edu.ec
Universidad del Azuay

Recibido (27/03/19), Aceptado (03/04/19)

Resumen: En trabajos mineros, túneles y/o taludes, para efectos de la evaluación de macizos rocosos, un parámetro importante es la resistencia a la compresión uniaxial (RCU) del material rocoso; de igual manera, las clasificaciones geomecánicas al tener como finalidad definir factores de seguridad y tipos de fortificación, utilizan la resistencia a la compresión uniaxial como uno de los parámetros fundamentales. La determinación de esta propiedad se la obtiene enviando muestras de roca a laboratorio, lo que hace el trabajo tedioso, costoso y con tiempos de espera largos. Se propone con pericia, que la resistencia a la compresión uniaxial, se puede determinar con equipos estándar sencillos, como una prensa y un calibrador, que generalmente se encuentran dentro de los campamentos mineros. En este trabajo se estableció una correlación entre deformaciones y la resistencia a la compresión uniaxial de la roca, proporcionando una forma práctica de determinar esta última, con un bajo costo y cierto grado de confiabilidad para obtener una aproximación del parámetro antes descrito y así coadyuve a los ingenieros de minas en estudios posteriores.

Palabras Claves: Compresión uniaxial, fortificación, minería, roca.

CORRELATION BETWEEN DEFORMATION AND COMPRESSIVE STRENGTH IN ROCKS: A FIELD DIAGNOSIS

Abstract: In mining works, tunnels and / or slopes, for the purposes of the evaluation of rock masses, an important parameter is the uniaxial compressive strength (RCU) of the rocky material; Likewise, the geomechanical classifications, whose purpose is to define safety factors and types of fortification, use the uniaxial compression resistance as one of the fundamental parameters. The determination of this property is obtained by sending rock samples to the laboratory, which makes the work tedious, expensive and with long waiting times. It is expertly proposed that uniaxial compressive strength can be determined with simple standard equipment, such as a press and gauge, which are generally found within mining camps. In this work a correlation between deformations and the uniaxial compression resistance of the rock was established, providing a practical way to determine the latter, with a low cost and a certain degree of reliability to obtain an approximation of the parameter described above and thus contribute to the mining engineers in later studies.

Keywords: Uniaxial compression, fortification, mining, rock

I. INTRODUCCIÓN

En la Mecánica de Rocas, que es la encargada de estudiar las propiedades de las rocas y de los macizos rocosos, es muy importante definir algunas de ellas, que sin restar importancia a otras, se consideran prioritarias. El comportamiento de una masa o macizo de roca in situ es diferente de un material rocoso, debido a que el material rocoso es mucho más fuerte y un macizo rocoso presenta casi siempre sistemas de debilidades estructurales llamadas diaclasas (fracturas, fisuras, juntas, discontinuidades, fallas de varios tamaños). Prácticamente todas las rocas que forman los kilómetros de la corteza terrestre están atravesadas por fisuras y grietas de corta extensión 1. También, incluso en rocas aparentemente isotropas y homogéneas, entendiéndose como homogeneidad si dos muestras cualesquiera de una masa rocosa del mismo volumen e igualmente orientadas son idénticas desde todos los puntos de vista 2, las propiedades pueden variar según el grado de cementación o variaciones en la composición mineralógica. Por este motivo se tiene que distinguir entre macizo rocoso y material rocoso.

Se habla de material rocoso cuando el material es intacto, por ejemplo un testigo o muestra de pequeño tamaño sin fracturas. Se habla de macizo rocoso a todo el conjunto de material rocoso y discontinuidades que lo conforman. Un macizo rocoso es por esto constituido por muchos bloques de material rocoso separados por juntas, discontinuidades, fisuras, etc.

Se define macizo rocoso como la forma en la que se presentan las rocas en el medio natural. Así pues un macizo rocoso estará definido por la roca y la estructura, que a su vez contendrá planos de estratificación, fallas, juntas, pliegues y otros caracteres estructurales. Los macizos rocosos son por tanto discontinuos y pueden presentar propiedades heterogéneas y/o anisótropas 3.

En muchos proyectos de ingeniería la clasificación de los macizos rocosos se realiza inicialmente para determinar la estabilidad de las obras a ejecutar. Por ejemplo a menudo las carreteras atraviesan macizos rocosos y los materiales excavados en ellos pueden ser utilizados en la construcción de la misma, siempre que sea posible. Por esta razón, es necesario tener un sistema de clasificación de los macizos rocosos.

Estas clasificaciones son conocidas como clasificaciones geomecánicas y derivan de la diferencia existente entre las propiedades de la roca por su naturaleza y las del macizo, que presenta diferentes grados de fracturación y meteorización. Las clasificaciones geomecánicas son sistemas de valoración del comportamiento del terreno rocoso. Se basan en calificar numéricamente las propiedades y características específicas de la roca

en un emplazamiento determinado y posteriormente obtener una calificación final como la suma de las valoraciones parciales. Las diferentes clasificaciones toman en cuenta un parámetro fundamental, la Resistencia a la Compresión Uniaxial de la roca (RCU). La RCU es una medida de resistencia de la matriz rocosa, la cual representa el esfuerzo de compresión axial máximo que puede soportar una muestra de material antes de fracturarse. Generalmente el ensayo se realiza sobre cubos o probetas cilíndricas de roca intacta con un diámetro recomendable de 50 milímetros 4.

Las clasificaciones geomecánicas modernas más difundidas en la ingeniería de túneles son las conocidas como Rock Mass Rating o sistema RMR, la clasificación del Instituto Geotécnico Noruego, o sistema Q y el Geological Strength Index (GSI). Las primeras dos clasificaciones se basan en los datos de recuperación de núcleos (RQD), número de familias de discontinuidades, rugosidad y estado general de las juntas, presencia de agua y adicionalmente pueden considerar la resistencia de la roca matriz, la orientación de las discontinuidades respecto a la excavación y el tipo de obra de que se trate 5.

En cuanto a la matriz rocosa, material rocoso o simplemente roca, hay muchos parámetros que se emplean para su identificación y descripción de sus características. Estas propiedades junto con la composición mineralógica determinan su comportamiento. Las propiedades mecánicas de la matriz rocosa son las que permiten conocer las características tenso-deformacionales de la misma, sometida a un estado de esfuerzos determinados. Dentro de las propiedades básicas, y de cara al conocimiento del comportamiento mecánico de la matriz, son de particular importancia la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción. El comportamiento tensión-deformacional de una roca, viene definido por la relación entre dos esfuerzos aplicados y las deformaciones producidas, hace referencia a como se va deformando y a la variación del comportamiento del material a lo largo de la aplicación de la carga, lo que permite conocer:

- El comportamiento antes de llegar a la rotura.
- La forma en la que se produce la rotura.
- El comportamiento después de la rotura.

Su estudio, se lleva a cabo a partir de ensayos de aplicación de fuerzas, en donde se registran las curvas esfuerzo-deformación a lo largo de las diferentes etapas del proceso.

La Tabla I muestra una clasificación de las rocas y la resistencia a la compresión según la ISRM (International Society for Rock Mechanics) de 1981 6.

Tabla I. Clasificación de la roca en base a la resistencia a la compresión según la ISRM

Descripción	Resistencia a la Compresión (MPa)
Extremadamente blanda	< 1
Muy blanda	1-5
Blanda	5-25
Moderadamente blanda	25-50
Dura	50-100
Muy dura	100-250
Extremadamente dura	250

Las rocas presentan relaciones lineales y/o no lineales entre las fuerzas aplicadas y las deformaciones producidas, obteniéndose diferentes modelos de curvas de tensión contra deformación para distintos tipos de rocas 7.

II. METODOLOGÍA

La base de cualquier trabajo es la planificación de las actividades a realizar. Para cumplir con el objetivo se dispone de una serie de herramientas, unas para aplicar en campo y otras en laboratorio. Para el desarrollo de la propuesta se inicia con la obtención de muestras de diferentes afloramientos ubicados en la provincia del Cañar (Ecuador), en un sector denominado Cojitambo, afloramientos compuestos por una formación volcánica del tipo andesita. Las andesitas son rocas volcánicas de grano fino, son comunes, como coladas de lava en regiones orogénicas y ocasionalmente forman pequeñas intrusiones □8□. En total se recolectaron 63 muestras y las mismas se las trabaja de tal forma que las rocas extraídas sean sanas y no contengan ningún tipo de alteración o fracturación. Es muy importante que las muestras tengan superficies frescas y limpias, que nos permita realizar una valoración correcta del estado de la roca en la cual se procede a realizar los ensayos.

Realizada la toma de muestras se las prepara para la elaboración de probetas (2 por muestra), una probeta para la prueba de resistencia a la compresión uniaxial (RCU), a la cual denominaremos hermana A y la segunda para el proceso de campo, denominada hermana B. En consecuencia tuvimos 63 probetas A y 63 probetas B. Las probetas preparadas tuvieron las siguientes dimensiones: 5 cm x 5 cm x 12.5 cm para los ensayos de RCU y 5 cm x 4 cm x 4 cm para la prueba de campo. (Figura 1). Es importante que la relación de las aristas en las probetas de las hermanas B tengan una relación

de 1 a 1.4 9.

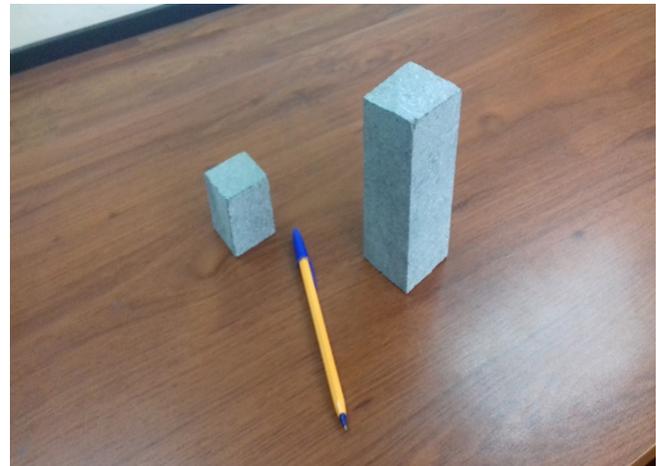


Figura 1. Probetas de una muestra listas para los ensayos.

En la primera fase se ejecuta las pruebas de resistencia a la compresión uniaxial (RCU), con las probetas A y para la realización de los ensayos se utiliza el equipo apropiado. Para nuestro estudio se usa una prensa Humboldt. Este equipo tiene facultades para someter materiales a ensayos de compresión. La presión se logra mediante placas o mandíbulas accionadas por tornillos o sistema hidráulico. El equipo tiene como función comprobar la resistencia de diversos tipos de materiales, para esto posee un sistema que aplica cargas controladas sobre la probeta (modelo de dimensiones preestablecidas) y mide en forma gráfica la deformación, y la carga al momento de su ruptura. (Figura 2). Los valores de RCU de una andesita están en el orden de entre 10 MPa y 40 MPa 10.



Figura 2. Equipo para ensayos de resistencia a la compresión Humboldt.

A continuación se ejecuta los procesos de campo, procediendo a romper cada probeta (hermanas B) mediante una prensa común, determinando primero su largo inicial y luego midiendo la deformación que sufrió la probeta en el momento de su ruptura. Esta deformación no es más que la diferencia de las dimensiones que se obtienen de la prensa al momento de iniciar el ensayo y el de la ruptura. En las Figuras 3 y 4 se puede observar este proceso.



Figura 3. Probeta sometida a medición inicial con calibrador común.

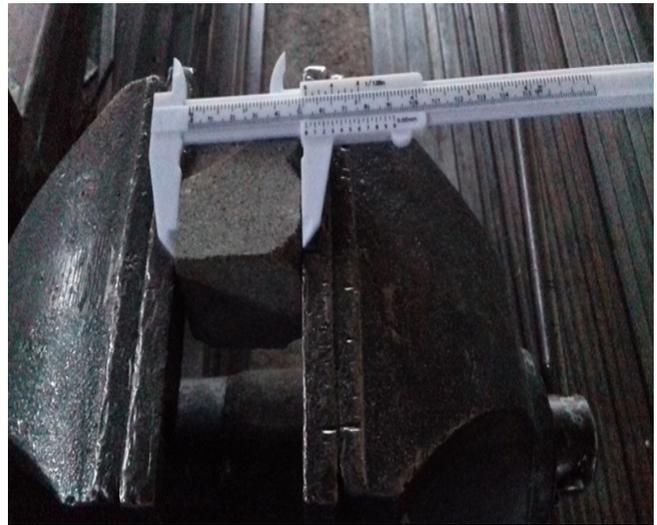


Figura 4. Probeta sometida a medición de deformación con un calibrador común.

En la figura 5 se puede observar los datos de resistencia a la compresión uniaxial de las probetas (hermanas A) en el eje de las ordenadas y cuyos valores se enmarcan entre 23 MPa y 32 MPa y en el eje de las abscisas, los valores de la deformación en cada probeta (hermanas B), los mismos que van desde los 0.09 cm hasta los 0.2 cm. Esta gráfica permite modelar las líneas de tendencia que generan la correlación. Es importante indicar que las medidas de deformación en lo posible deben contener dos decimales para lograr una precisión en la ubicación del eje respectivo.

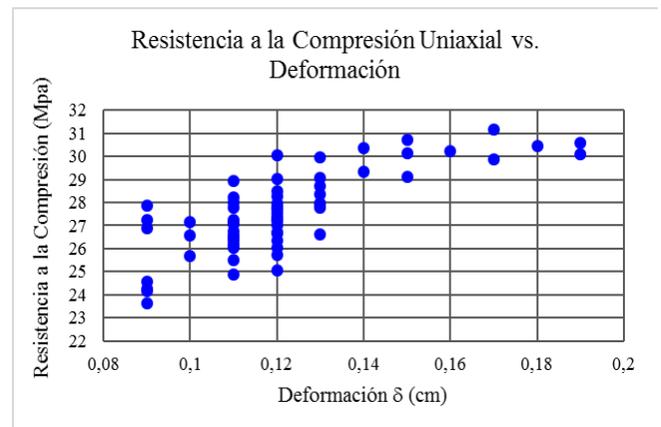


Figura 5. Grafica de resultados RCU vs. Deformación.

III. RESULTADOS

Analizados los datos se puede determinar que existe una correlación entre la RCU y la deformación de la roca. Esta deformación es proporcional y aumenta de acuerdo al aumento de la presión ejecutada en el ensayo.

Se busca una primera correlación entre los valores obtenidos y se establece que la misma es una función logarítmica como lo muestra la figura 6.

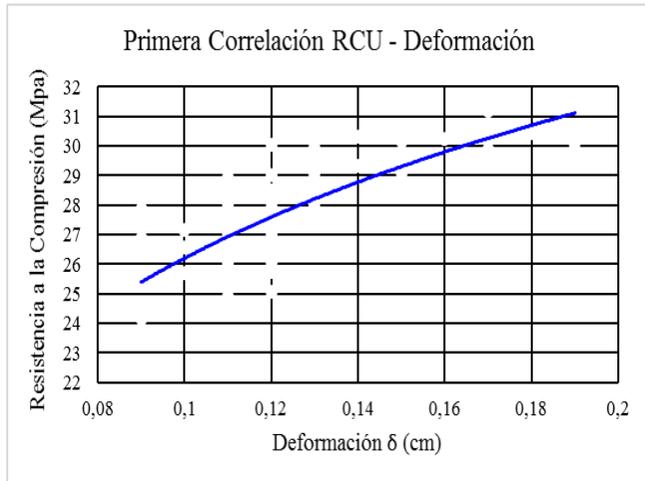


Figura 6. Correlación Logarítmica.

Estadísticamente nos presenta la relación:

$$\text{RCU (MPa)} = 7.65 \ln \delta(\text{cm}) + 43.82 \quad R^2 = 0.6$$

Se plantea una segunda correlación en base a una función de grado 3, la cual se puede observar en la figura 7, pero la misma a pesar de su R2 mayor, no está muy aplicada a la teoría.

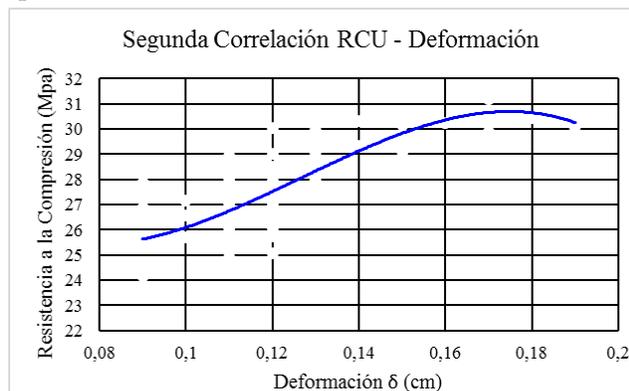


Figura 7. Correlación Ecuación exponente 3

Estadísticamente nos presenta la relación:

$$\text{RCU (MPa)} = -11733 \cdot \delta^3(\text{cm}) + 4453.6 \cdot \delta^2(\text{cm}) - 431.43 \cdot \delta(\text{cm}) + 41.434$$

$$R^2 = 0.62$$

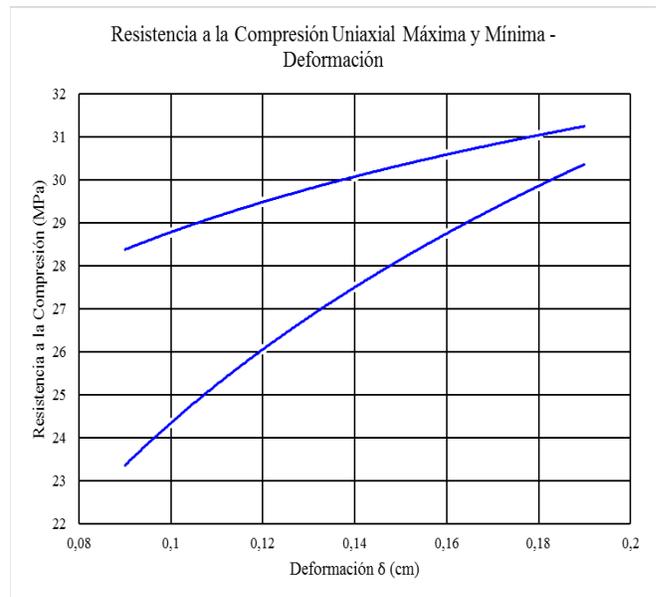


Figura 8. Correlación RCU Máxima o Mínima y deformación

$$\text{RCU max (MPa)} = 3.84 \ln \delta(\text{cm}) + 37.64$$

$$\text{RCU min (MPa)} = 9.39 \ln \delta(\text{cm}) + 45.97$$

IV. CONCLUSIONES

Una vez evaluados los resultados que se han obtenido en las experiencias llevadas a cabo en diferentes muestras, reconocemos el empleo del procedimiento para la determinación en campo de la resistencia a la compresión uniaxial (RCU) de rocas.

Como conclusión se anota que los afloramientos del sector de Cojitambo presentan valores de RCU de entre 23 MPa a 32 MPa, como se puede observar en la figura 8, lo cual nos hace prever que si las deformaciones de nuevas muestras o probetas de roca no se encuentran dentro de estos valores, probablemente nos encontramos con otro tipo de formación geológica.

Se compara los resultados obtenidos en el presente trabajo con los datos de RCU de la andesita y podemos observar que existe un error del 25 al 40 %, es decir valores de \square 10 MPa, lo cual para efectos de las clasificaciones de macizos rocosos y determinación de factores de seguridad o fortificación no son considerables.

Esta metodología permite conocer la resistencia a la compresión de la roca de una manera económica y en poco tiempo, lo cual brinda cierta ventaja con respecto a los ensayos que se usan normalmente en laboratorio.

Esta investigación proporciona una valoración de la resistencia a la compresión de materiales rocosos que es necesaria para el estudio geotécnico y comportamiento del macizo rocoso. La profundización en el

conocimiento de los diferentes materiales rocosos, la evolución en el tiempo de la eficiencia del modelo y las características del ejercicio propuesto constituido por su metodología, son algunos de los temas que deben ser abordados para que esta propuesta se ponga a punto y sea utilizada en el campo.

V. REFERENCIAS

- [1]M. Iriondo, "Introducción a la Geología". Córdoba. Argentina, 2006, pp.63.
- [2]D. Ragan, "Geología Estructural". Barcelona. España, 1980, pp. 103.
- [3]P. Ramírez, L. Alejano, "Fundamentos e Ingeniería de Taludes". Madrid. España, 2004, pp.1.
- [4]X. Almeida, "Planeamiento Minero y Diseño de Explotación para Materiales de Construcción en el Libre Aprovechamiento San Gerardo de la parroquia Mariano Moreno". Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador, 2018, pp. 48.
- [5]L. González de Vallejo, M. Ferrer, L. Ortuño, & C. Oteo, "Ingeniería Geológica", Madrid, España, 2004, pp. 133.
- [6]M. Galván, "Mecánica de Rocas, Correlación entre la Resistencia a Carga Puntual y la Resistencia a Compresión Simple". Cali, Colombia, 2015, pp. 23.
- [7]Secretaria de Comunicaciones y Transporte, Manual de Diseño y Construcción de Túneles de Carreteras, México D. F., México, 2016, pp. 7-8.
- [8]F. Blyth, M. Freitas, "Geología para Ingenieros", México D.F., México, 2003, pp. 153.
- [9]S. Guido, J. Segovia, "Notas del Curso de Arte Minero I", Cuenca, Ecuador, 1991, pp 204.
- [10]P. Feijoo, R. Aucay, D. Ordoñez, "Aplicación del Esclerómetro para la determinación de la Resistencia a Compresión de Rocas", Cuenca, Ecuador, 2018, pp. 7.