

Research Article

# Characterization of Rock Material Through Point Load Test Index, Granulometry, and Dimensions of Specimens

## Caracterización del Material Rocoso mediante Índice de Carga Puntual, Granulometría y Dimensiones de Probetas

Ernesto Feijoo\*

Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería en Minas, Cuenca, Ecuador

### ORCID

Ernesto Feijoo: <https://orcid.org/0000-0001-6901-7933>

INDEXACIÓN II CONGRESO  
INTERNACIONAL DE  
CIENCIA Y TECNOLOGIA  
MORONA SANTIAGO  
CICTMS 2021

Corresponding Author:  
Ernesto Feijoo

Published: 18 April 2024

Production and Hosting by  
Knowledge E

© Ernesto Feijoo. This article is distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use and redistribution provided that the original author and source are credited.

### Abstract

The characterization of rock material in mining projects is important, specifically with respect to compressive strength, since this parameter establishes safety factors for slopes in quarries and/or fortification systems for tunnels. This work proposes a simple and practical application methodology. It is proposed with accessible tests in situ, such as granulometric indices and point load test index, to more than a predetermined dimensioning of the specimens. The physical properties mentioned are established in a simple but methodical way; and in this work, 180 tests have been carried out on specimens of the same material, from the sector called Cojitambo, province of Cañar (Ecuador). The results obtained allow the characterization of the rock, establishing for this work that the point load test index has values between 3037 MPa and 4992 MPa, which categorizes rock material as a class of hard rock. It was concluded that the proposal avoids the permanent sending of samples to the laboratory, saving time and money, therefore, a calculation methodology has been structured for the stated objective.

**Keywords:** *granulometry, compression, rock, point load test index.*

### Resumen

Es importante la caracterización del material rocoso en proyectos mineros, específicamente respecto a la resistencia a compresión, ya que mediante este parámetro se establecen factores de seguridad para taludes en canteras y/o sistemas de fortificación para túneles. Este trabajo tuvo como objetivo proponer una metodología simple, sencilla y de aplicación práctica. Se la plantea con ensayos accesibles in situ, como los índices granulométricos e índice de carga puntual, a más de un predeterminado dimensionamiento de las probetas. Las propiedades físicas mencionadas se las establece de una forma sencilla, pero metódica y en este trabajo se han ejecutado 180 ensayos sobre probetas de un mismo material, proveniente del sector denominado Cojitambo, provincia del Cañar (Ecuador). Los resultados obtenidos permiten la caracterización de la roca, estableciendo para este trabajo que el índice de carga puntual tiene valores entre los 3.037 MPa y 4.992 MPa, lo que categoriza al material rocoso como una clase de roca dura. Se pudo concluir que la propuesta evita el envío permanente de muestras a laboratorio, ahorrando tiempo y dinero, por lo tanto, se ha estructurado una metodología de cálculo para el objetivo planteado.

**Palabras Clave:** *granulometría, compresión, roca, índice de carga puntual.*

 OPEN ACCESS



---

## 1. Introducción

Para la ejecución de proyectos mineros es importante determinar la resistencia a la compresión de las rocas (RCS) que afloran en los mismos, ya que mediante este parámetro se pueden desarrollar clasificaciones de los macizos rocosos, como la del Rock Mass Rating (RMR) o Índice Q, con las cuales se determina la estabilidad de las estructuras mineras, tanto a cielo abierto como en subterráneo. La resistencia de una roca o de sedimentos no bien consolidados está influida por la mineralogía de sus partículas y por el contacto que hay entre ellas (1). Estas características han permitido que se desarrollen pruebas en laboratorio para la determinación de la resistencia a la compresión, pero en muchas ocasiones, debido a la distancia a la que se encuentran los proyectos mineros en desarrollo y a los altos costos que generan los análisis de laboratorio, no se envían muestras o probetas y la problemática se presenta permanentemente para los ingenieros encargados. Un ensayo alternativo para la determinación de la resistencia a la compresión es el denominado índice de carga puntual o  $I_s$  (50), el cual ha sido desarrollado ampliamente por algunos autores y el mismo es factible de realizarlo en el campo. En este trabajo se propone determinar propiedades físicas de las rocas, específicamente su granulometría, y correlacionarla con el índice de carga puntual, para de esta manera obtener de una manera aproximada la resistencia a la compresión del material rocoso. 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 (2).

En este punto cabe analizar cada una de las propiedades de las rocas, que se verán involucradas en las diferentes propuestas de correlación de este trabajo, tomando en consideración que la heterogeneidad de los materiales o rocas usados siempre puede ser un limitante para su análisis. También, incluso en rocas aparentemente



isótropas 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 (3), las propiedades pueden variar según el grado de cementación o variaciones en la composición mineralógica.

Este trabajo con una base teórica y el respectivo análisis de la misma, permite la variación de parámetros técnicos, dentro de los límites permitidos. En la parte metodológica se hace una explicación de esta variación. Los resultados obtenidos presentan un rango variable, pero aceptable, lo que nos hace demostrar la validez de la teoría, pero permiten establecer pautas para un desarrollo de los ensayos de manera más óptima. Las conclusiones evidencian lo expuesto anteriormente.

## 2. Materiales y Métodos

Se denomina resistencia a la compresión simple de una roca (RCS) al esfuerzo medido sobre la misma de una manera técnica. Esta valoración del parámetro se debe a la necesidad de emplear clasificaciones de 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. En la actualidad las clasificaciones geomecánicas se han generalizado y son ampliamente utilizadas, tanto en las fases de diseño como en las fases de ejecución, en todo tipo de obras en macizos rocosos. Es importante, por tanto, conocer las limitaciones y dificultades que presenta cada una de las clasificaciones (4). Las diferentes clasificaciones toman en cuenta un parámetro fundamental, la resistencia a la compresión uniaxial o simple de la roca. La RCS 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. Este ensayo sirve para determinar la resistencia a compresión de una probeta cilíndrica de roca de altura entre el doble y el triple del diámetro (5). Normalmente estas probetas se obtienen a partir de testigos de perforación. También se pueden obtener muestras a partir de bloques de roca; la extracción de estos bloques en la mina o en la obra se debe llevar a cabo sin voladuras, ya que éstas pueden generar en la roca nuevas microfisuras o aumentar las existentes, lo cual se traduciría en una pérdida de resistencia de las probetas que se obtengan de ellos. Averiguar la resistencia a compresión simple de una roca es

importante porque permite clasificar la roca según su resistencia, es un parámetro importante en los criterios de rotura más utilizados (Mohr-Coulomb y Hoek-Brown), así mismo, conocer el grado de anisotropía de las rocas es importante para comprender su comportamiento ante las cargas, y su omisión puede ocasionar errores en la estimación de su resistencia (6).

Una alternativa para determinar la RCS es el ensayo de carga puntual, el cual consiste en romper un pedazo de roca entre dos puntas cónicas de acero endurecido. El equipo utilizado se lo puede observar en la figura 1.



**Figura 1**

*Equipo para determinación de  $I_s$  (50).*

Las muestras que son colocadas entre dichas puntas pueden ser de cualquier forma, pero lo recomendable es que su diámetro no sea inferior a 50 mm, ya que, el volumen de dicha probeta influye en su resistencia (7). La ecuación 1 permite calcular el índice de carga puntual sin corrección:

$$I_s = \frac{P}{De^2} \quad (1)$$

Dónde:

P=carga aplicada en N

De=diámetro del núcleo equivalente en mm

Se toman las distancias de los fragmentos los cuales deben cumplir con las disposiciones que se indican en la norma. La razón  $0.3 < D/W < 1$  que de preferencia



quede cerca de 1. La distancia  $L > 0.5W$  ( $L$  distancia del extremo de la roca a las puntas cónicas) y se conoce  $W$ . En la ecuación 2 se determina el diámetro equivalente ( $De$ ) en función de las dimensiones de los fragmentos irregulares (8):

$$De^2 = \frac{4WD}{\pi} \quad (2)$$

El índice de resistencia a la carga puntual corregido  $I_s$  (50), de una muestra de roca se define como el valor de  $I_s$  que se ha medido por una prueba diametral con  $D = 50$  mm. Cuando una clasificación de roca es fundamental, el método más fiable para conseguir  $I_s$  (50) es llevar a cabo las pruebas con diámetros de  $D = 50$  mm o muy cercanos a dicho valor. La mayoría de las pruebas de carga puntual, son utilizando tamaños de muestras diferentes al diámetro mencionado (9). En la ecuación 3 podemos obtener la corrección de tamaño:

$$I_s (50) = \left( \frac{De^2}{50} \right)^{0.45} \cdot I_s \quad (3)$$

Finalmente, en la ecuación 4, podemos observar la relación que existe entre la resistencia a la compresión simple de la probeta de roca, relacionada con el índice de carga puntual.

$$RCS = 25 \cdot I_s (50) \quad (4)$$

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 (10).

Ahora bien, la propuesta consiste en obtener una correlación entre la granulometría del material rocoso y el índice de carga puntual, por lo que cabe, a este punto, definir temas como trituración y clasificación de los materiales.

La trituración de rocas tiene como objetivo disminuir el tamaño de partícula de las muestras sólidas, siempre teniendo en cuenta que debe conservarse su homogeneidad. La principal herramienta que se utiliza para reducir el tamaño de partícula de los sólidos es una trituradora de mandíbulas (Figura 2). A la trituradora de mandíbulas también se le conoce como trituradora de quijada.

Es una máquina utilizada en la trituración primaria. El campo que más utiliza a las trituradoras de mandíbulas es el de la producción mineral e industrial (11). Realizada la trituración de las muestras, usualmente se continúa con la clasificación de los elementos fragmentados.

Se han desarrollado diferentes sistemas de clasificación de las partículas. La separación de un suelo en diferentes fracciones, según sus tamaños, resulta necesaria para conocer su competencia y eficiencia, desde la perspectiva geotécnica. Esta acción



**Figura 2**

*Trituradora de mandíbulas.*

comprende los ensayos de tamizado, que tienen por objetivo distribuir los diferentes tamaños de partículas del material rocoso mediante el empleo de una serie de tamices ordenados de forma decreciente en referencia al diámetro de apertura (Figura 3). Esta clasificación comprende dos partes: por tamizado para las partículas gruesas (gravas y arenas) y el de sedimentación para la fracción fina del suelo (limos y arcillas) (12).

Una forma de representar gráficamente los resultados obtenidos de los ensayos de tamizado es mediante la curva granulométrica, donde el porcentaje de muestra pasante es graficado en las ordenadas y el diámetro de las partículas en las abscisas. A partir de la curva granulométrica, se pueden obtener diámetros característicos tales como el D50, D60, D70, D80, D90, etc. La letra D se refiere al diámetro aparente de la partícula y el subíndice (50, 60, 70, 80, 90) denota el porcentaje de material más fino. Por ejemplo, un parámetro muy utilizado luego de la generación de una curva granulométrica es el denominado D80, el cual se define como el tamaño que permite pasar el 80 % en peso de la población de partículas. Para determinar el D80 se utilizó el modelo de Schumann, descrito por la ecuación 5 (13).

$$F(x) = \left( \frac{x}{K_{Sch}} \right)^n \quad (5)$$

Donde:



**Figura 3**

*Tamices para clasificación.*

$F(x)$  = % en peso acumulado pasante por cada malla

$n$  = parámetro de distribución

$K_{Sch}$  = constante de Schumann

$x$  = tamaño de partícula

La base de cualquier trabajo es la planificación de las actividades a realizar. Para cumplir con el objetivo disponemos 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 un sector denominado Cojitambo, presentan una morfología de tipo multiforme, es una formación volcánica en la provincia del Cañar (Ecuador) (14). Estas muestras se toman de afloramientos, pero trabajando en los mismos para que la matriz rocosa extraída sea sana y no contenga ningún tipo de alteración o descomposición. Es muy importante que las muestras tengan superficies frescas y limpias, que nos permita realizar una valoración correcta del estado de la roca a la cual se procede a realizar los ensayos (15). Realizada la toma de muestras se las prepara para la producción de probetas, las mismas que se elaboraron en tres grupos de 60 cada uno, el primer grupo con dimensiones de aproximadamente 5 cm x 10 cm x 10 cm, el segundo con dimensiones aproximadas de 7 cm x 10 cm x 10 cm y el tercer grupo con dimensiones aproximadas

de 9 cm x 10 cm x 10 cm. Efectuado esto se separan cada grupo de 60 probetas en dos subgrupos, los subgrupos A con 30 probetas para el proceso de trituración y clasificación y los subgrupos B con 30 probetas para el ensayo de carga puntual.

En la primera fase se ejecutaron con el subgrupo A los ensayos de trituración y clasificación y finalmente con el subgrupo B los ensayos de carga puntual. En la figura 4 se pueden observar algunas probetas utilizadas para los ensayos.



**Figura 4**

*Muestras o probetas de roca.*

### 3. Resultados y Discusión

Luego de evaluar los resultados, Tabla 1, se han establecido las diferentes relaciones entre los índices granulométricos y el  $I_s$  (50), para las muestras de 5 cm x 10 cm x 10 cm, esto se lo puede observar en la figura 5.

Las relaciones se presentan a continuación:

$$I_s (50) = -1.4304 \bullet D20 + 6.1694 \quad (6)$$

$$R^2 = 0.7632$$

$$I_s (50) = -1.341 \bullet D50 + 10.195 \quad (7)$$

$$R^2 = 0.7749$$

$$I_s (50) = -2.799 \bullet D80 + 26.716 \quad (8)$$

$$R^2 = 0.8131$$

**Tabla 1**

Datos de granulometría e  $I_s$  (50) para las muestras de 5 cm.

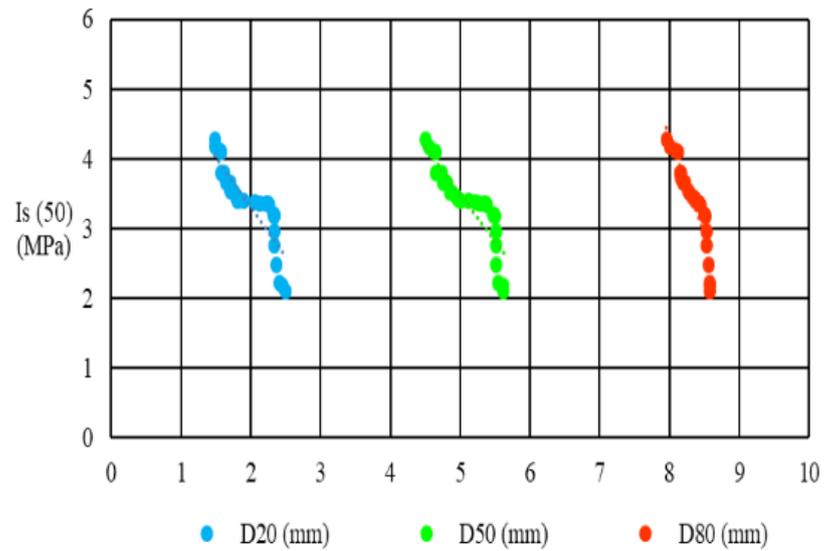
MUESTRA	D20 (mm)	D50 (mm)	D80 (mm)	$I_s$ (50) (MPa)
1T5	2.493	5.624	8.582	2.099
2T5	2.456	5.615	8.582	2.175
3T5	2.405	5.542	8.576	2.213
4T5	2.363	5.521	8.565	2.473
5T5	2.343	5.516	8.538	2.757
6T5	2.340	5.515	8.529	2.962
7T5	2.337	5.496	8.511	3.186
8T5	2.330	5.484	8.505	3.198
9T5	2.317	5.471	8.501	3.204
10T5	2.269	5.390	8.446	3.345
11T5	2.242	5.362	8.434	3.351
12T5	2.214	5.334	8.427	3.355
13T5	2.127	5.282	8.424	3.365
14T5	2.058	5.228	8.400	3.384
15T5	1.900	5.126	8.388	3.396
16T5	1.805	4.996	8.374	3.399
17T5	1.803	4.978	8.374	3.408
18T5	1.789	4.954	8.351	3.445
19T5	1.789	4.947	8.334	3.465
20T5	1.763	4.855	8.280	3.526
21T5	1.713	4.853	8.266	3.530
22T5	1.709	4.815	8.223	3.649
23T5	1.655	4.752	8.190	3.654
24T5	1.632	4.751	8.163	3.713
25T5	1.614	4.745	8.160	3.795
26T5	1.575	4.657	8.145	3.804
27T5	1.570	4.650	8.121	4.087
28T5	1.554	4.606	8.093	4.124
29T5	1.485	4.555	7.998	4.172
30T5	1.480	4.499	7.959	4.266

En la Tabla 2 se presentan los resultados de las muestras de 7 cm x 10 cm x 10 cm y los mismos se los pueden observar en la figura 6.

Las relaciones son:

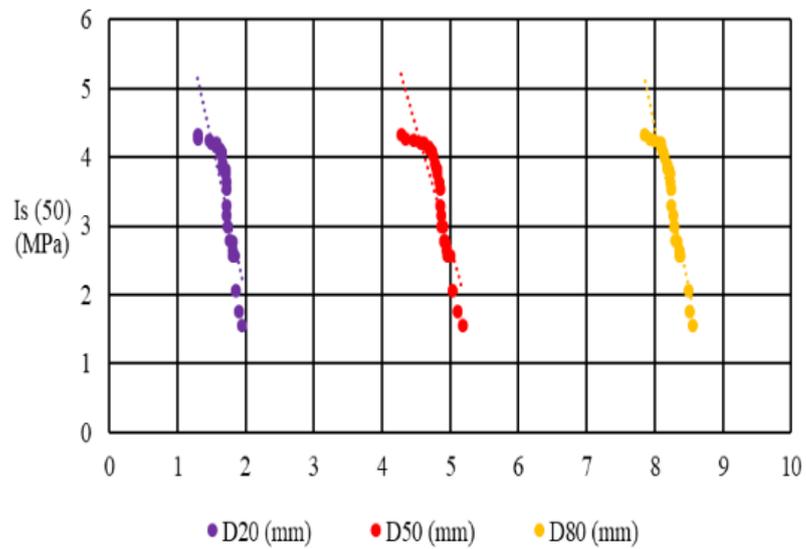
$$I_s (50) = -4.5171 \bullet D20 + 11.011 \quad (9)$$

$$R^2 = 0.7303$$



**Figura 5**

Gráfica de valores de índices granulométricos e  $I_s (50)$  de muestras 5 cm.



**Figura 6**

Gráfica de valores de índices granulométricos e  $I_s (50)$  de muestras 7 cm.

$$I_s (50) = -3.4564 \bullet D50 + 19.992 \quad (10)$$

$$R^2 = 0.7543$$

$$I_s (50) = -4.671 \bullet D80 + 41.804 \quad (11)$$

$$R^2 = 0.8827$$

**Tabla 2**

Datos de granulometría e  $I_s$  (50) para las muestras de 7 cm.

MUESTRA	D20 (mm)	D50 (mm)	D80 (mm)	$I_s$ (50) (MPa)
1T7	1.950	5.180	8.550	1.546
2T7	1.897	5.111	8.511	1.746
3T7	1.854	5.039	8.497	2.062
4T7	1.837	5.004	8.378	2.568
5T7	1.814	4.966	8.367	2.571
6T7	1.814	4.949	8.367	2.655
7T7	1.812	4.926	8.332	2.765
8T7	1.793	4.914	8.325	2.770
9T7	1.771	4.907	8.305	2.778
10T7	1.734	4.896	8.279	2.991
11T7	1.731	4.869	8.279	2.997
12T7	1.729	4.869	8.265	3.155
13T7	1.729	4.859	8.245	3.289
14T7	1.722	4.851	8.242	3.535
15T7	1.716	4.834	8.231	3.647
16T7	1.712	4.812	8.224	3.766
17T7	1.711	4.809	8.208	3.821
18T7	1.675	4.803	8.197	3.824
19T7	1.669	4.797	8.177	3.833
20T7	1.658	4.778	8.173	3.897
21T7	1.642	4.755	8.138	4.017
22T7	1.640	4.741	8.120	4.078
23T7	1.618	4.706	8.112	4.102
24T7	1.611	4.691	8.108	4.117
25T7	1.584	4.689	8.096	4.151
26T7	1.576	4.615	8.090	4.210
27T7	1.493	4.562	8.080	4.216
28T7	1.463	4.468	7.988	4.239
29T7	1.307	4.351	7.922	4.271
30T7	1.297	4.277	7.858	4.330

En la Tabla 3 se presentan los resultados de las muestras de 9 cm x 10 cm x 10 cm y los mismos se los pueden observar en la figura 7. De igual forma se han obtenido sus respectivas relaciones.

Las relaciones son:

$$I_s (50) = -3.0309 \bullet D20 + 8.9415 \quad (12)$$

**Tabla 3**

Datos de granulometría e  $I_s$  (50) para las muestras de 9 cm.

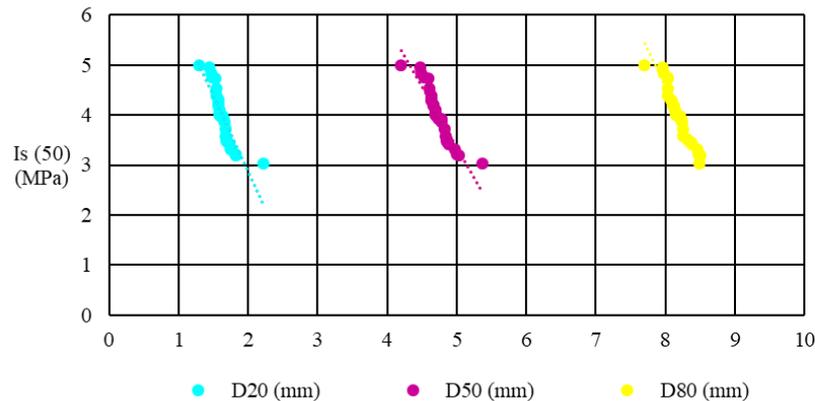
MUESTRA	D20 (mm)	D50 (mm)	D80 (mm)	$I_s$ (50) (MPa)
1T9	2.214	5.367	8.483	3.037
2T9	1.824	5.036	8.509	3.190
3T9	1.821	4.997	8.478	3.220
4T9	1.749	4.966	8.452	3.324
5T9	1.738	4.891	8.386	3.415
6T9	1.708	4.863	8.370	3.458
7T9	1.694	4.852	8.338	3.486
8T9	1.689	4.852	8.316	3.514
9T9	1.676	4.839	8.255	3.572
10T9	1.672	4.820	8.254	3.715
11T9	1.665	4.788	8.236	3.865
12T9	1.651	4.776	8.221	3.914
13T9	1.650	4.740	8.218	3.933
14T9	1.631	4.732	8.217	3.937
15T9	1.631	4.705	8.205	3.976
16T9	1.606	4.703	8.194	3.979
17T9	1.586	4.700	8.158	3.996
18T9	1.585	4.697	8.146	4.031
19T9	1.582	4.690	8.132	4.106
20T9	1.575	4.660	8.125	4.187
21T9	1.573	4.657	8.107	4.200
22T9	1.571	4.642	8.095	4.289
23T9	1.570	4.636	8.082	4.311
24T9	1.547	4.636	8.041	4.379
25T9	1.539	4.600	8.038	4.526
26T9	1.524	4.588	8.036	4.733
27T9	1.484	4.533	8.033	4.760
28T9	1.475	4.493	7.98	4.833
29T9	1.446	4.472	7.957	4.956
30T9	1.289	4.200	7.698	4.992

$$R^2 = 0.7614$$

$$I_s (50) = -2.4239 \bullet D50 + 15.473 \quad (13)$$

$$R^2 = 0.862$$

$$I_s (50) = -2.8954 \bullet D80 + 27.714 \quad (14)$$



**Figura 7**

Gráfica de valores de índices granulométricos e  $I_s(50)$  de muestras 9 cm.

$$R^2 = 0.9228$$

Se puede observar en las tres tablas, entre los índices granulométricos y el  $I_s(50)$ , que el valor de  $R^2$  aumenta en los resultados de los D80, así mismo mientras las muestras son de mayor dimensión, en lo que se refiere a su diámetro, la correlación tiene una mejor respuesta.

## 4. Conclusiones

Una vez evaluados los resultados y las experiencias llevadas a cabo, reconocemos el empleo del procedimiento para la valoración del índice de carga puntual de las rocas y caracterizarlas por medio de los índices granulométricos presentados, específicamente D80 y con muestras de roca de dimensiones 9 cm x 10 cm x 10 cm.

La metodología planteada nos permite determinar que la roca del Cojitambo tiene un índice de carga puntual que varía desde 1.546 MPa hasta los 4.992 MPa, pero debido al análisis de correlaciones, se puede concluir que este rango es más reducido, debido a las muestras de 9 cm por su  $R^2$ , por lo que los límites están entre los 3.037 MPa y 4.992 MPa, lo que la encasilla en un tipo de roca dura.

Debido a lo expuesto y mediante la expresión (4), se concluye que la resistencia a compresión de la roca (andesita), presente en el sector de Cojitambo, tiene un valor entre 75.925 MPa y 124.8 MPa.

Este tipo de roca puede ser usada para elementos ornamentales o de construcción, debido a que su resistencia a compresión, mantendría una durabilidad en el tiempo, pero al mismo tiempo permite una maniobrabilidad en el trabajo de destaje.



Este trabajo presenta una metodología de trabajo simple y sencilla, para la caracterización de la roca en un proyecto minero, por lo que su puesta a punto debe profundizarse con un mayor número de muestras de diferentes tipos de rocas y de esta forma el proceso sea avalado.

## References

- [1] Blyth F, Freitas M. Geología para Ingenieros. D.F. México: CECSA; 2003.
- [2] Iriondo M. Introducción a la Geología. Córdoba, Argentina: Ediciones del Rio; 2006.
- [3] Ragan D. Geología Estructural. Barcelona, España: Omega; 1980.
- [4] Feijoo P, Iñiguez C. Corte en rocas y su relación con la resistencia a compresión simple. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, E30. 2020. 59-67. Disponible en: <http://www.risti.xyz/issues/ristie30.pdf>
- [5] Feijoo P, Flores C, Feijoo B. The concept of the granulometric area and its relation with the resistance to the simple compression of rocks. IESTEC, 2019. p. 52–56. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8943635>
- [6] Burbano D, García T. Estimación empírica de la resistencia a compresión simple a partir del ensayo de carga puntual en rocas anisótropas (esquistos y pizarras). Investigación y desarrollo. 2016;1(2):13-16. Disponible en: <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.862>.
- [7] Galván M. Mecánica de Rocas: Correlación entre la Resistencia a Carga Puntual y la Resistencia a Compresión Simple. Cali, Colombia: Universidad del Valle; 2015.
- [8] Feijoo P, Peralta A, Tamayo A, Feijoo B. Tamaño de partícula del material rocoso y su correlación con el índice de prueba de carga puntual. Minerva. 2022;3(7):78-88. Disponible en: <https://doi.org/10.47460/minerva.v3i7.54>
- [9] Feijoo P, Almache P. Characterization of rock material by point load strength index test and direct cut. Minerva. 2021;2(4):11-22. Disponible en: <https://minerva.autanabooks.com/index.php/Minerva/article/view/23/144>
- [10] Secretaria de Comunicaciones y Transporte. Manual de Diseño y Construcción de Túneles de Carreteras. México D. F., México: Secretaria de Comunicaciones y Transporte; 2016.
- [11] Rodenas E. Muestreo y operaciones unitarias de laboratorio. 1st ed. España: Síntesis; 2020.



- [12] Feijoo E, Choco E, Peláez G, Feijoo B. Índice de Carga Puntual y su Relación con Dimensiones en Bloque Regular de Roca. *Revista Tecnológica – Espol.* 2022;34(2):28-39. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/886>
- [13] Feijoo P, Ureña C. Caracterización de la resistencia a la compresión en rocas mediante clasificación granulométrica: un ensayo de campo. *Ingeniería y Competitividad.* 2021;24(1):2-11. Disponible en: [https://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ingenieria\\_y\\_competitividad/article/view/10832](https://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/article/view/10832)
- [14] Feijoo P, Román M. Correlación entre la deformación y la resistencia a la compresión en rocas. *Universidad, Ciencia y Tecnología.* 2019;23(91):12-17. Disponible en: <https://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/112/109>
- [15] Feijoo P, Padrón J. La resistividad de rocas y su relación con la resistencia a compresión simple en mina. *Universidad, Ciencia y Tecnología.* 2020;24(99):61-67. Disponible en: <http://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/296>