

Índice de carga puntual y su relación con dimensiones en bloque regular de roca

Point load test Index and its relation with dimensions in regular rock block

Ernesto Feijoo Calle¹ <https://orcid.org/0000-0001-6901-7933>,

Emmanuel Choco Salinas¹ <https://orcid.org/0000-0001-8991-1254>, Gerardo Pelaez Becerra¹
<https://orcid.org/0000-0003-0721-950X>, Bernardo Feijoo Guevara¹ <https://orcid.org/0000-0002-1089-1332>

¹Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador

pfeijoo@uazuay.edu.ec, emma@es.uazuay.edu.ec,
gerard1708@es.uazuay.edu.ec, bernardofeijoo@uazuay.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Enviado: 2021/11/28

Aceptado: 2022/02/04

Publicado: 2022/06/30

Resumen

Este trabajo tuvo por objetivo evaluar el índice de carga puntual, conocido como I_s (50), de un material rocoso o simplemente roca, en función de las dimensiones de las probetas que fueron elaboradas y sometidas al ensayo. Se inició con la toma de muestras de un mismo material, el cual es proveniente de un solo afloramiento y que está compuesto por una andesita anfibólica. El afloramiento está ubicado en el sector denominado Cojitambo, en la provincia del Cañar en Ecuador. En segunda instancia se elaboraron una serie de probetas hasta obtener noventa, que estuvieron en condiciones idóneas para el ensayo, las mismas que quedaron divididas en tres grupos de treinta, el grupo uno denominado P5, el grupo dos P7 y el grupo tres P9 y las dimensiones de las probetas fueron aproximadamente, 10x10x5 cm, 10x10x7 cm y 10x10x9 cm, respectivamente. Como tercera etapa se tomaron las dimensiones precisas de las probetas y se las valoró al ser sometidas al ensayo de carga puntual. Los resultados son interesantes ya que muestran un comportamiento diferente para cada grupo de probetas, lo que genera algunas interrogantes y se puede valorar el índice de carga puntual de la roca objetivamente además se obtuvieron conclusiones que deben ser tomadas en consideración.

Palabras clave: andesita, material rocoso, resistencia, compresión, minería.

Sumario: Introducción, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Feijoo, E., Choco, E., Pelaez, G. & Feijoo, B. (2022). Índice de carga puntual y su relación con dimensiones en bloque regular de roca. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(2), 29-40.
<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/886>

Abstract

The objective of this work was to evaluate the point load test index, known as I_s (50), of rock material or simply rock, depending on the dimensions of the specimens that were developed and subjected to the test. It began with the taking of samples of the same material, which comes from a single outcrop and is composed of amphibole andesite. The outcrop is in a sector called Cojitambo, in the province of Cañar in Ecuador. In a second instance, test tubes were elaborated until obtaining ninety, which were in ideal conditions for the test, and divided into three groups of thirty, called P5, P7, and P9. The dimensions of the specimens were approximately 10x10x5 cm, 10x10x7 cm, and 10x10x9 cm, respectively. As a third stage, the precise dimensions of the specimens were taken and evaluated, as they were subjected to the point load test. The results are interesting since they show different behavior for each group of test tubes, raising some questions while the point load test index of the rock can be objectively assessed. The obtained conclusions should be taken into consideration.

Keywords: Andesite, rock material, resistance, compression, mining.

Introducción

En el desarrollo de actividades mineras, específicamente en la extracción de minerales o materiales a cielo abierto o subterráneo, éstas demandan la permanente caracterización de dichos minerales o materiales, y es de vital importancia conocer un parámetro fundamental, para desarrollar estudios de estabilidad de los sistemas estructurales que conforman los emplazamientos mineros (estructuras mineras), el cual se conoce como Resistencia a la Compresión Simple o Uniaxial (RCS) del material rocoso. Por esto es importante determinar la resistencia a la compresión de las rocas para 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. Así también la RCS es importante para el cálculo y diseño de voladuras, específicamente a cielo abierto, ya que se considera un parámetro inmodificable. Según (Murcia, 2016). Los parámetros inmodificables son los que condicionan el diseño de la voladura y no pueden variarse, por tanto condicionan los resultados, definen los parámetros para el diseño de una malla; se dividen en dos grupos y son descritos a continuación: Parámetros del macizo rocoso que son las propiedades del macizo rocoso que se derivan de las estructuras geológicas, la geología regional y geología local, tales como la densidad, dureza, tenacidad, resistencia entre otras, las cuales condicionan el diseño y exigen un aprovechamiento de estas para lograr buenos resultados tanto para producción minera como para el análisis de estabilidad de los bancos.

El diseño de las obras fundamentales en minería constituye un aspecto organizativo y económico esencial debido a que las “fallas”, que éstas puedan tener, influyen en los resultados finales que atentan contra la eficiencia de las empresas disminuyendo la rentabilidad y por consiguiente las finanzas para trabajar en la sostenibilidad de la región minera (Martínez, 2016).

En este punto es importante describir macizo rocoso y material rocoso o roca intacta o simplemente roca.

El fin de describir el macizo rocoso, según este contexto, será por consiguiente determinar las propiedades del mismo, que influyen en los fenómenos mecánicos que se desean estudiar con fines de aplicación a los problemas de ingeniería, por ejemplo: caracterización del macizo rocoso, flujo de fluidos dentro del macizo rocoso, soporte y deformación del macizo rocoso y disipación de energía en el mismo (Suárez, 2015). En consecuencia, el macizo rocoso

está formado por el material rocoso y su estructura general, es decir discontinuidades, planos de estratificación, juntas, etc.

El material rocoso o simplemente roca es parte del macizo rocoso. Las rocas son agregados naturales de uno o más minerales con proporciones diversas, cuyas masas sólidas resultantes constituyen una unidad de la corteza terrestre (Rivera, 2005). Las rocas se clasifican en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Las rocas ígneas comprenden a aquellas consolidadas en profundidad en el interior de la corteza, denominadas ígneas plutónicas o plutonitas y a las producidas por magma que llega a superficie, llamadas ígneas volcánicas o volcanitas (Varela, 2014). Una roca bastante común en la zona interandina es la andesita, la cual aflora en muchas zonas del Ecuador, debido al volcanismo presente.

Las andesitas son rocas volcánicas de grano fino, son comunes, como coladas de lava en regiones orogénicas y ocasionalmente forman pequeñas intrusiones; son compactas, algunas veces vesiculares y comúnmente de color castaño y en extensión total ocupan el segundo lugar después del basalto (Blyth y Freitas, 2003).

Una de las propiedades de las rocas, que es de vital importancia para el desarrollo de las actividades mineras, es la resistencia a la compresión simple o uniaxial, pero en muchas ocasiones se vuelve tedioso el hecho de enviar permanentemente a laboratorio muestras para obtener este parámetro, especialmente por factores como tiempo y costo. La RCS es el esfuerzo necesario para fracturar la roca, se determina mediante un ensayo establecido y equipos adecuados. El equipo utilizado para este ensayo es una prensa Humboldt que tiene facultades para someter materiales a ensayos de tensión y compresión. La presión se logra mediante placas o mandíbulas accionadas por tornillos o sistema hidráulico. La máquina de ensayos tiene como función comprobar la resistencia de diversos tipos de materiales; para esto posee un sistema que aplica cargas controladas sobre una probeta (modelo de dimensiones preestablecidas) y mide en forma gráfica la deformación y la carga al momento de su ruptura (Feijoo y Brito, 2021).

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 (Secretaría de Comunicaciones y Transporte, 2016). Una de esas relaciones es la que existe entre la resistencia a la compresión simple y el índice de carga puntual o I_s (50), propuesta por la ISRM en 1985.

Pero debemos aclarar que las rocas son anisótropas. La isotropía se puede aplicar de forma simplificada como siendo la propiedad de un medio de responder de forma igual, independiente de la dirección que se aplique la fuerza. Las rocas no suelen poseer esta característica, ya que la presencia de defectos o su composición condicionan/alteran el comportamiento de la roca matriz y del macizo rocoso (Santos, 2014).

Materiales y Métodos

Para el desarrollo de este trabajo se inició con la obtención de muestras de un sector denominado Cojitambo, el cual presenta una morfología de tipo multiforme, es una formación volcánica en la provincia del Cañar (Ecuador) (Feijoo y Román, 2019).

Con las muestras de roca sana, en este caso de una andesita típica de la zona, se elaboraron alrededor de 120 probetas de dimensiones específicas, las cuáles se distribuyen hasta conseguir tres grupos de 30 probetas cada uno, con características aceptables para los ensayos, es decir con las dimensiones adecuadas y sin fracturas existentes. Estos tres grupos,

el primero tiene como dimensiones aproximadas 10x10x5 cm, el segundo 10x10x7 cm y el tercero 10x10x9 cm, y se los denominó P5, P7 y P9, respectivamente.

De hecho, las propiedades de las rocas varían en las diferentes direcciones que se aplique un efecto; por eso, a este punto se propone utilizar el corte en la roca, el cual por razones descritas no será igual en función de la arista establecida para generar el mismo. Este corte debe ser ejecutado sobre muestras o probetas preparadas, para tratar de mitigar los efectos de la anisotropía, lo cual es muy difícil conseguir. Así pues, en el proceso de corte de rocas intervienen conjuntamente el equipo o sierra de corte, el útil diamantado y el material a cortar. Además, no se deben olvidar los parámetros o condiciones del corte ni quizás el factor más importante: el humano (Suarez et al., 1998), por lo que se debe trabajar con experticia.

El equipo utilizado para la elaboración de las probetas es una cortadora Covington que está diseñada para el corte de rocas y es un modelo de piso (Figura 1). Ésta posee una sierra de estilo inmersión, lo que significa que el fluido de corte se asienta dentro del tanque y la cuchilla giratoria elevará el fluido de corte y alrededor de la probeta.

Las sierras de disco, para probetas de rocas de Covington, varían en tamaño desde 18 a 36 pulgadas. Esta unidad posee una sierra de disco de 30". Se debe mantener las normas de seguridad durante la ejecución de los cortes y siempre mantener cerrada la compuerta de la cortadora, con la finalidad de evitar cualquier tipo de incidente o accidente (Feijoo e Íñiguez, 2020). Algunas probetas se las puede observar en la Figura 2.

Como segunda etapa se procedió a la ejecución del ensayo de carga puntual. El índice de carga puntual es un ensayo alternativo al de resistencia a la compresión. El ensayo de carga puntual consiste en romper un pedazo de roca entre dos puntas cónicas de acero endurecido, según la norma propuesta por la ISRM en 1985. Las muestras que posteriormente van a ser 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 (Feijoo y Ureña, 2021).

Figura 1

Cortadora de rocas Covington



Figura 2

Probetas de roca listas para el ensayo de carga puntual



El índice de carga puntual se calcula mediante la relación, sin corrección:

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

Dónde:

P = Carga aplicada en kN.

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 $0.3W < D < W$ es preferente que se mantenga cercana a 1. La distancia $L > 0.5W$ (L distancia del extremo de la roca a las puntas cónicas y W distancia perpendicular a L medida sobre la roca).

En la ecuación 2 se determina el diámetro equivalente De, en función de las dimensiones de los fragmentos irregulares:

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

Donde A está definido por la ecuación 3:

$$A = WD \quad (3)$$

Siendo A el área transversal mínima paralela a la dirección de la carga en mm^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 $D = 50 \text{ mm}$. 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 $D = 50 \text{ mm}$ o muy cercanos a dicho valor.

Esto se debe a la relativa sencillez del ensayo, la facilidad de preparación de las muestras y su aplicabilidad en el campo (Burbano y García, 2016). Con la ecuación 4 se obtiene la corrección de tamaño:

$$I_s(50) = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0.45} \cdot I_s \quad (4)$$

El equipo utilizado para este ensayo es de características básicas y su fabricación es factible en un proyecto minero (Figura 3).

El índice de carga puntual proporciona una valoración útil de resistencia mecánica, en particular de la compresión uniaxial de rocas sanas sin daños, la cual se deberá corregir en función de las dimensiones reales que tengan los especímenes a analizar. Algunos autores han propuesto métodos de correlación entre el índice de carga puntual (I_s) y la resistencia mecánica a compresión de las rocas (RCS) (Broch y Franklin, 1972, Akram M. y Bakar 2007, Singh et al. 2012). La relación entre RCS e I_s para núcleos de 50 mm de diámetro es de 24, que es una constante definida como K entre ambos parámetros, con lo que se llega a la siguiente expresión (Broch y Franklin, 1972): $RCS = K I_s$. El valor de K fue posteriormente corroborado por Bieniawski (1975), utilizando núcleos con diámetro de 54 mm NX (diámetro de broca) en muestras de arenisca, cuarcita y norita (Navarrete et al., 2013).

Figura 3

Ensayo para índice de carga puntual



Ejecutados los ensayos se deben correlacionar los valores entre el $I_s(50)$ y la resistencia a la compresión simple y, para ello, existen varias propuestas; sin embargo, existen correlaciones en la literatura que ya han sido establecidas en años pasados y las mismas proponen algunas ecuaciones. Ahora, al conocer las correlaciones propuestas en la teoría, las más relevantes y usadas se detallan a continuación. En 1972, Franklin, J. A. y Bosh, E., proponen un factor de correlación de 24. Chau, K. T., y Wong, R. H. C., en 1996 un factor de 12.5. Rusnak, J., y Mark, C., en 2000, un factor de 21. Thuro y Plinninger, R. J., en 2001 un factor de 18.7. Mark, C., en 2002, un factor de 21. Akram, M., y Bakar, M. Z. A., en 2007 un factor de 13.295. Cobanoglu, I., y Celik, S. B., en 2008, una relación $RCS=8.66 I_s 50 + 10.85$ (Galván, 2015).

Cabe indicar que, de los tres grupos de probetas elaboradas, las cuales cuentan con un establecimiento de medidas predeterminadas, se decidió realizarlas, debido a que la teoría propone que la relación entre D sobre W debe ser mayor a 0.3 y menor a 1, por lo que se buscó mantener al primer grupo (P5) de probetas cerca del valor de 0.5, al segundo grupo (P7) cerca al valor de 0.7 y el tercer grupo (P9) cerca al valor de 0.9

Resultados y Discusión

Realizados todos los ensayos, en los tres grupos de probetas se determinaron los valores de I_s (50), los cuales podemos observar en las Tablas 1, 2 y 3.

En la Tabla 1 se ejecutó el ensayo de carga puntual sobre las probetas de relación D sobre W aproximada de 0.3. En la Tabla 2 se observa los resultados sobre las probetas con relación D sobre W de aproximadamente 0.5 y en la Tabla 3 se presentan los resultados del ensayo efectuado sobre las probetas de relación D sobre W de aproximadamente 0.9.

Tabla 1

Dimensiones y valores de I_s (50) del grupo de probetas P5

Probeta	W	L	D	D/W	Fuerza (P)	WD	De ²	I _s	F	I _s (50)
	(cm)	(cm)	(cm)		(kN)	(mm ²)	(mm ²)	(MPa)		(MPa)
1P5	9.90	10.22	5.05	0.51	17.45	4999.50	6365.56	2.74	1.23	3.38
2P5	9.97	9.88	5.11	0.51	19.43	5094.67	6486.74	3.00	1.24	3.71
3P5	9.99	9.88	4.94	0.49	21.91	4935.06	6283.51	3.49	1.23	4.29
5P5	9.96	9.89	4.94	0.50	22.23	4920.24	6264.64	3.55	1.23	4.36
6P5	9.86	9.89	5.08	0.52	18.21	5008.88	6377.50	2.86	1.23	3.53
7P5	9.86	9.97	4.86	0.49	15.97	4791.96	6101.31	2.62	1.22	3.20
8P5	9.85	9.91	4.84	0.49	16.89	4767.40	6070.04	2.78	1.22	3.40
10P5	9.94	10.05	5.16	0.52	9.67	5129.04	6530.50	1.48	1.24	1.84
13P5	9.93	9.88	4.94	0.50	21.69	4905.42	6245.77	3.47	1.23	4.27
14P5	10.02	10.14	5.21	0.52	17.84	5220.42	6646.85	2.68	1.25	3.35
15P5	10.05	9.84	5.16	0.51	17.00	5185.80	6602.77	2.58	1.24	3.20
16P5	9.99	10.01	5.19	0.52	18.38	5184.81	6601.51	2.78	1.24	3.46
17P5	9.87	9.91	5.22	0.53	16.82	5152.14	6559.91	2.56	1.24	3.19
18P5	9.99	9.88	5.13	0.51	15.58	5124.87	6525.19	2.39	1.24	2.96
19P5	10.15	9.90	5.09	0.50	11.51	5166.35	6578.00	1.75	1.24	2.17
20P5	10.08	10.02	5.15	0.51	19.38	5191.20	6609.64	2.93	1.24	3.65
22P5	9.99	9.88	4.94	0.49	22.41	4935.06	6283.51	3.57	1.23	4.39
23P5	9.90	10.00	5.24	0.53	18.09	5187.60	6605.06	2.74	1.24	3.41
25P5	10.09	10.22	5.19	0.51	18.42	5236.71	6667.59	2.76	1.25	3.44
26P5	9.92	10.14	5.09	0.51	11.50	5049.28	6428.94	1.79	1.24	2.21
27P5	10.02	10.21	5.18	0.52	22.15	5190.36	6608.57	3.35	1.24	4.17
28P5	9.88	9.92	4.94	0.50	12.52	4880.72	6214.33	2.01	1.23	2.47
30P5	10.05	9.93	5.06	0.50	17.59	5085.30	6474.81	2.72	1.24	3.37
32P5	9.90	10.19	5.21	0.53	11.09	5157.90	6567.24	1.69	1.24	2.10
34P5	9.98	9.94	4.84	0.48	13.85	4830.32	6150.15	2.25	1.22	2.76
36P5	9.89	9.75	4.90	0.50	20.76	4846.10	6170.25	3.37	1.23	4.12
37P5	10.08	10.12	5.17	0.51	19.46	5211.36	6635.31	2.93	1.25	3.65
38P5	9.96	10.19	5.16	0.52	20.05	5139.36	6543.64	3.06	1.24	3.80
39P5	9.83	10.01	5.21	0.53	17.63	5121.43	6520.81	2.70	1.24	3.35
40P5	10.08	9.78	5.27	0.52	19.09	5312.16	6763.65	2.82	1.25	3.53

Tabla 2*Dimensiones y valores de Is (50) del grupo de probetas P7*

Probeta	W	L	D	D/W	Fuerza (P)	WD	De ²	Is	F	Is (50)
	(cm)	(cm)	(cm)		(kN)	(mm ²)	(mm ²)	(MPa)		(MPa)
1P7	10.19	9.95	6.83	0.67	28.87	6959.77	8861.45	3.26	1.33	4.33
2P7	9.97	9.99	6.89	0.69	24.85	6869.33	8746.30	2.84	1.33	3.77
3P7	10.03	9.92	6.88	0.69	28.07	6900.64	8786.17	3.19	1.33	4.24
4P7	10.06	10.13	6.83	0.68	25.30	6870.98	8748.40	2.89	1.33	3.83
5P7	9.82	10.27	7.06	0.72	18.37	6932.92	8827.27	2.08	1.33	2.76
6P7	9.93	9.79	6.96	0.70	25.35	6911.28	8799.72	2.88	1.33	3.82
7P7	9.90	9.87	7.05	0.71	19.98	6979.50	8886.58	2.25	1.33	2.99
8P7	10.15	10.16	6.83	0.67	28.02	6932.45	8826.67	3.17	1.33	4.22
9P7	9.92	10.27	6.82	0.69	17.31	6765.44	8614.03	2.01	1.32	2.65
10P7	10.17	10.11	6.82	0.67	27.59	6935.94	8831.11	3.12	1.33	4.15
11P7	10.18	10.22	6.83	0.67	18.50	6952.94	8852.76	2.09	1.33	2.78
12P7	9.93	10.04	6.83	0.69	16.78	6782.19	8635.35	1.94	1.32	2.57
14P7	9.95	10.16	6.83	0.69	23.87	6795.85	8652.74	2.76	1.32	3.65
15P7	9.94	10.22	6.81	0.69	31.43	6769.14	8618.74	3.65	1.32	4.82
17P7	9.99	9.89	6.79	0.68	23.10	6783.21	8636.65	2.67	1.32	3.53
21P7	10.13	9.92	6.98	0.69	33.22	7070.74	9002.75	3.69	1.33	4.92
22P7	9.93	10.09	6.79	0.68	30.73	6742.47	8584.78	3.58	1.32	4.72
23P7	10.05	10.12	6.83	0.68	27.15	6864.15	8739.71	3.11	1.33	4.12
24P7	10.18	10.17	6.82	0.67	26.53	6942.76	8839.80	3.00	1.33	3.99
26P7	10.06	10.01	6.81	0.68	29.34	6850.86	8722.79	3.36	1.32	4.46
28P7	10.22	10.11	6.86	0.67	27.50	7010.92	8926.58	3.08	1.33	4.10
29P7	9.88	10.14	6.88	0.70	26.29	6797.44	8654.77	3.04	1.32	4.02
30P7	10.14	9.90	6.92	0.68	22.06	7016.88	8934.17	2.47	1.33	3.29
31P7	9.96	10.13	7.14	0.72	25.90	7111.44	9054.57	2.86	1.34	3.82
32P7	10.08	10.09	6.87	0.68	28.36	6924.96	8817.13	3.22	1.33	4.27
33P7	9.88	10.01	6.78	0.69	26.39	6698.64	8528.97	3.09	1.32	4.08
34P7	9.94	9.91	6.75	0.68	20.44	6709.50	8542.80	2.39	1.32	3.15
35P7	9.98	10.14	6.84	0.69	27.64	6826.32	8691.54	3.18	1.32	4.21
37P7	10.07	9.89	6.75	0.67	16.83	6797.25	8654.53	1.94	1.32	2.57
39P7	9.98	9.86	7.03	0.70	18.58	7015.94	8932.97	2.08	1.33	2.77

Tabla 3*Dimensiones y valores de Is (50) del grupo de probetas P9*

Probeta	W	L	D	D/W	Fuerza (P)	WD	De ²	Is	F	Is (50)
	(cm)	(cm)	(cm)		(kN)	(mm ²)	(mm ²)	(MPa)		(MPa)
1P9	9.96	10.08	8.83	0.89	28.55	8794.68	11197.73	2.55	1.40	3.57
2P9	10.11	9.90	8.82	0.87	28.16	8917.02	11353.50	2.48	1.41	3.49
4P9	9.97	9.98	8.86	0.89	26.66	8833.42	11247.06	2.37	1.40	3.32
5P9	9.92	9.94	8.78	0.89	31.19	8709.76	11089.61	2.81	1.40	3.93

Probeta	W	L	D	D/W	Fuerza (P)	WD	De ²	Is	F	Is (50)
	(cm)	(cm)	(cm)		(kN)	(mm ²)	(mm ²)	(MPa)		(MPa)
6P9	9.74	10.14	8.94	0.92	33.30	8707.56	11086.81	3.00	1.40	4.20
7P9	9.86	9.93	8.88	0.90	31.36	8755.68	11148.08	2.81	1.40	3.94
8P9	9.88	9.91	8.94	0.90	38.75	8832.72	11246.17	3.45	1.40	4.83
10P9	9.91	9.91	8.87	0.90	30.88	8790.17	11191.99	2.76	1.40	3.87
11P9	9.91	10.00	9.00	0.91	26.01	8919.00	11356.02	2.29	1.41	3.22
12P9	9.91	9.91	8.97	0.91	40.22	8889.27	11318.17	3.55	1.40	4.99
14P9	9.87	10.14	8.83	0.89	33.23	8715.21	11096.55	2.99	1.40	4.19
15P9	10.14	9.61	9.18	0.91	28.52	9308.52	11851.98	2.41	1.42	3.42
16P9	9.88	9.95	8.85	0.90	37.66	8743.80	11132.95	3.38	1.40	4.73
17P9	9.90	9.94	8.71	0.88	34.46	8622.90	10979.02	3.14	1.40	4.38
18P9	10.07	10.09	9.04	0.90	32.63	9103.28	11590.66	2.82	1.41	3.98
19P9	10.08	9.81	8.90	0.88	30.15	8971.20	11422.49	2.64	1.41	3.71
20P9	9.94	9.91	9.16	0.92	28.85	9105.04	11592.90	2.49	1.41	3.51
22P9	10.08	9.89	9.01	0.89	35.14	9082.08	11563.66	3.04	1.41	4.29
24P9	9.98	9.92	8.81	0.88	36.16	8792.38	11194.81	3.23	1.40	4.53
25P9	10.08	9.09	8.91	0.88	32.32	8981.28	11435.32	2.83	1.41	3.98
26P9	10.08	9.94	8.89	0.88	34.96	8961.12	11409.65	3.06	1.41	4.31
27P9	10.04	10.17	8.97	0.89	32.53	9005.88	11466.64	2.84	1.41	4.00
29P9	10.01	9.89	8.88	0.89	32.48	8888.88	11317.67	2.87	1.40	4.03
31P9	10.22	9.94	8.81	0.86	25.96	9003.82	11464.02	2.26	1.41	3.19
32P9	9.86	9.95	8.83	0.90	37.74	8706.38	11085.31	3.40	1.40	4.76
33P9	9.99	9.83	8.74	0.87	24.14	8731.26	11116.99	2.17	1.40	3.04
35P9	10.25	9.99	8.84	0.86	28.28	9061.00	11536.82	2.45	1.41	3.46
37P9	9.84	9.93	8.89	0.90	39.44	8747.76	11137.99	3.54	1.40	4.96
38P9	9.97	10.22	8.88	0.89	32.98	8853.36	11272.45	2.93	1.40	4.11
39P9	9.93	9.89	8.82	0.89	31.18	8758.26	11151.36	2.80	1.40	3.91

A continuación, se procede a graficar la relación D sobre W e Is (50) con la finalidad de observar alguna tendencia y obtener medias y medianas de los resultados; esto se lo puede observar en las Figuras 4, 5, 6 y en la Figura 7 un consolidado.

Figura 4

Dispersión de los resultados del grupo de probetas P5

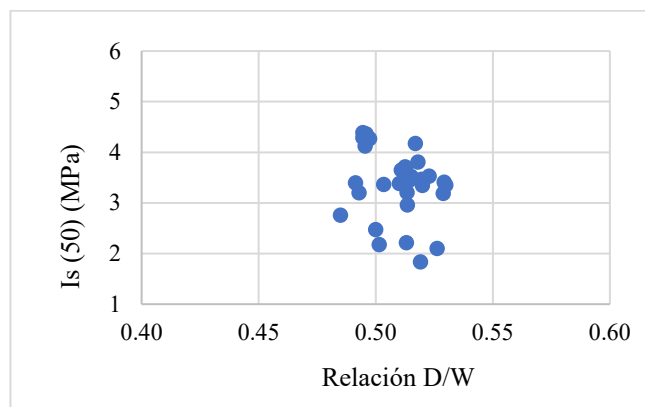
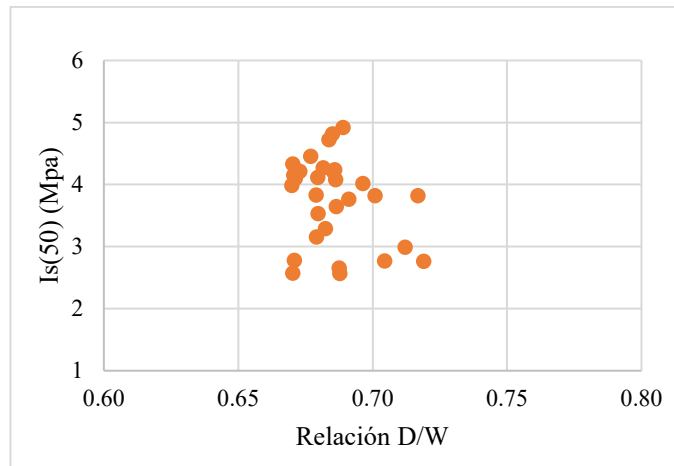
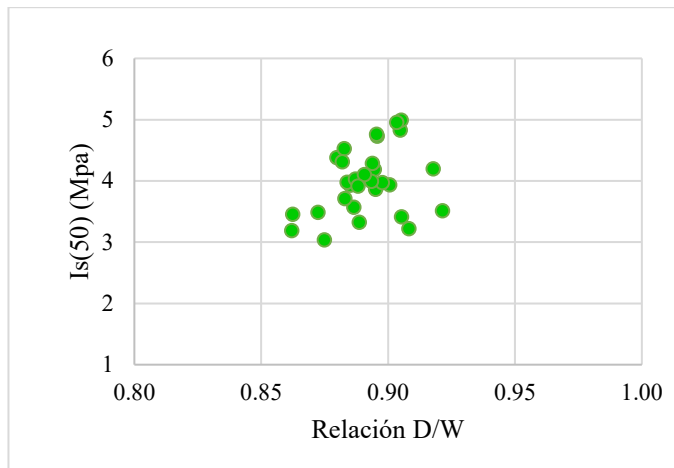


Figura 5

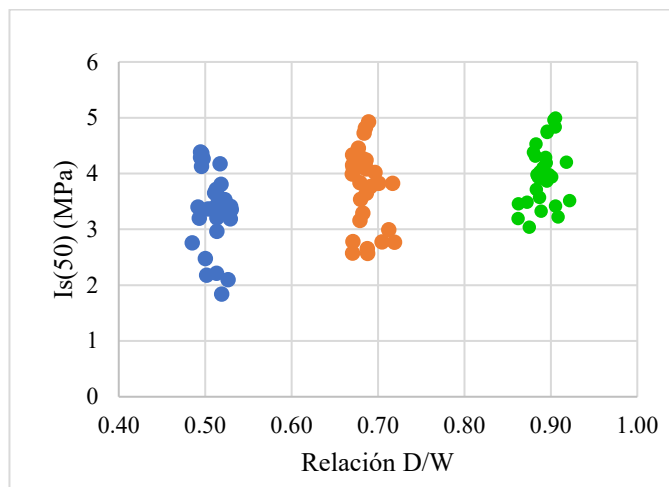
Dispersión de los resultados del grupo de probetas P7

**Figura 6**

Dispersión de los resultados del grupo de probetas P9

**Figura 7**

Dispersión consolidada de los resultados de los tres grupos de probetas



Al observar las figuras se puede establecer que mientras más cercana es la relación D sobre W a 1, el rango de dispersión de los valores es menor, como se puede observar a través de la desviación estándar; además, se establecen las medias y medianas de los resultados de Is (50) y se puede ver que su comparación es casi invariable con las muestras del grupo P9 (Tabla 4).

Tabla 4

Medias, medianas y desviación estándar de los valores de Is (50) de los tres grupos de probetas

	Is (50) (MPa)		
	Media	Mediana	Desviación Estándar
Grupo P5	3.36	3.40	0.6842
Grupo P7	3.75	3.91	0.6940
Grupo P9	3.99	3.98	0.5406

Conclusiones

La elaboración de probetas de un mismo material o roca es factible con las dimensiones descritas en este trabajo, así también la determinación del Is (50), ya que la mayor parte de empresas mineras cuentan con los equipos apropiados para dichos ensayos.

Se encontró que existe una correspondencia entre la relación D sobre W de las probetas con el Is (50) de la roca analizada, la cual proporciona una vía rápida, directa y económica para determinar un valor aproximado a la propiedad (RCS).

Los resultados de Is (50), comparados con sus respectivas relaciones D/W, para el caso del estudio presentado, oscilan entre 3.36 MPa hasta 3.99 MPa, lo que proporciona valores de RCS aproximadamente entre 50 MPa y 60 MPa.

Las relaciones analizadas, de la conclusión anterior, hacen prever que mientras la relación D sobre W sea cercana a 1, los resultados de Is (50) se mantienen en un rango más corto y su media y mediana no tienen variación.

Se debe realizar un análisis previo de los datos con límites de confianza y así aclarar posibles incertidumbres en las mediciones de las pruebas realizadas sobre este material.

Esta propuesta debe ser complementada con la ejecución de probetas que presenten relaciones de D sobre W de 0.4, 0.6 y 0.8; así también, se debería variar el tipo de roca, para de esta forma poder generalizarla.

Referencias

- Blyth, F., Freitas, M. (2003). *Geología para Ingenieros* (1ra ed.). México.
- Burbano D., García T. (2016). Estimación empírica de la resistencia a compresión simple a partir del ensayo de carga puntual en rocas anisótropas (esquistos y pizarras). *Fi*. vol. 1. n° 2. pp. 13-16. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.862>
- Feijoo, P., Brito, E. (2021). Rock Characterization Through Physical Properties and Their Relationship to Simple Compressive Strength. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, 1(2), 931–941. DOI 10.18502/epoch.v1i2.9507

- Feijoo, P., e Iñiguez, C. (2020). Corte en Rocas y su relación con la resistencia a la compresión simple. *RISTI*, n.º E 30, p. 59-67. <http://www.risti.xyz/issues/ristie30.pdf>
- Feijoo, P., Ureña, C. (2021). Characterization of the compressive strength in rocks by granulometric classification: a field test. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, In press 2021; e20310832. <https://doi.org/10.25100/iyc.v24i1.10832>
- Feijoo, P., Román, M. (2019). Correlación entre la deformación y la resistencia a la compresión en rocas: un diagnóstico de campo. *UNIVERSIDAD CIENCIA Y TECNOLOGÍA*, Volumen 23, Número 91, pp. 14. <https://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/112>
- Galván, M. (2015). *Mecánica de Rocas. Correlación entre la Resistencia a Carga Puntual y la Resistencia a Compresión Simple*. Universidad del Valle. Colombia.
- Martínez, R. (2016). *La Estabilidad del Macizo Geológico* (1ra ed.). Universidad del Pinar del Rio. ISBN--978-959-16-2624-0
- Murcia, L. (2016). Procedimiento para el diseño de mallas de voladura en explotación de canteras a cielo abierto con base en la estabilidad temporal y final de los bancos de producción. [Tesis de Magister, Pontifica Universidad Javeriana].
- Navarrete, M., Martínez, W., Alonso-Guzmán, E., Lara, C., Bedolla, J., Chávez, H., Delgado, D., Arteaga, J. Caracterización de propiedades fisico-mecánicas de rocas ígneas utilizadas en obras de infraestructura. *ALCONPAT*. 2013; vol. 3 (n.º 2): 133-143. doi <https://doi.org/10.21041/ra.v3i2.49>.
- Rivera, H. (2005). *Geología General* (2da ed.). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://www.geogpsperu.com/2011/05/libro-de-geologia-general.html>
- Santos, A. (2014). *Resistencia Anisótropa de las Rocas*. Universidad Politécnica de Madrid, Tesis de Maestría.
- Secretaria de Comunicaciones y Transporte. (2016). *Manual de Diseño y Construcción de Túneles de Carreteras*. México D. F., México.
- Suárez, L. (2015). *Descripción del macizo rocoso. Introducción a la ingeniería de rocas de superficie y subterránea*. (2da ed.). Medellín. Colombia. <https://www.researchgate.net/publication/330834433>
- Suarez, L., Rodríguez, A., Calleja, L., Ruiz, G. (1998). El corte de rocas ornamentales con discos diamantados: influencia de los factores propios del sistema de corte. *Revista Materiales de Construcción* Vol. 48, España. <https://doi.org/10.3989/mc.1998.v48.i250.478>
- Varela, R. (2014). *Manual de Geología* (1ra ed.). Universidad Nacional de La Plata.