

# Correlaciones empíricas entre las clasificaciones geomecánicas RMR y Q en macizos rocosos volcánicos

## *Empirical correlations between RMR and Q geomechanical classifications in volcanic rock masses*

A. Bonilla<sup>1</sup>, D. Quintana<sup>1</sup> y M. J. Rodríguez-Peces<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense 28040 Madrid. angelfb@ucm.es, dianaqui@ucm.es, martinjr@ucm.es

**Resumen:** En este trabajo se correlacionan las clasificaciones geomecánicas del RMR y la Q aplicadas en un macizo rocoso volcánico. Los datos necesarios para ello fueron obtenidos a partir de mapas geológicos, ensayos geofísicos, estaciones geomecánicas, sondeos, ensayos in situ y ensayos de laboratorio en los materiales volcánicos que atravesará el túnel Transcordillerano, localizado al sureste de Quito (Ecuador). Estas clasificaciones se han aplicado a cada una de las 8 unidades geotécnicas identificadas con objeto de establecer varias correlaciones empíricas entre el índice Q y el RMR, aplicables a diferentes rocas volcánicas. También se ha obtenido una correlación general para el conjunto de los materiales volcánicos presentes en el túnel Transcordillerano. En la mayoría de los casos se ha obtenido una buena correlación entre ambos parámetros ( $R^2 > 60\%$ ), lo que sugiere que estas expresiones se pueden utilizar aceptablemente para mejorar la caracterización de los macizos rocosos formados por este tipo de materiales volcánicos.

**Palabras clave:** Chacana, túnel, roca volcánica, RMR, Q.

**Abstract:** In this paper we correlated the RMR and Q geomechanical classifications performed in a volcanic rock mass. The data required for this were obtained from geological maps, geophysical tests, geomechanical stations, boreholes, in situ testing and laboratory tests in the volcanic materials that will cross the Transcordillerano tunnel, located southeast of Quito (Ecuador). These classifications were applied to each of the eight geotechnical units identified in order to establish a number of empirical correlations between RMR and Q index, which will be applicable to different volcanic rocks. We have also obtained a general correlation for all of the volcanic materials in the Transcordillerano tunnel. In most cases a good correlation between both parameters ( $R^2 > 60\%$ ) was obtained, suggesting that these expressions may be used acceptably to improve the characterization of rock masses composed by such volcanic materials.

**Key words:** Chacana, tunnel, volcanic rock, RMR, Q.

## INTRODUCCIÓN

El Distrito Metropolitano de Quito (Ecuador) con el fin de garantizar los caudales de consumo para su población mediante la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) ejecutará el Proyecto de Ríos Orientales, el cual contempla la toma de varios ríos (Pucalpa, Semiond, Quijos Sur, Cristal, Quijos Norte, Tablón, Blanco Grande) de las vertientes orientales del Volcán Antisana (Figura 1). Para ello se prevé la construcción de captaciones desde donde sus aguas serán conducidas por tuberías superficiales y subterráneas mediante tres túneles.

Las clasificaciones geomecánicas permiten otorgar un valor de calidad geomecánica a un macizo rocoso de acuerdo a sus parámetros característicos, por lo que son frecuentemente empleadas para el diseño de obras subterráneas como los túneles. Los datos necesarios para su realización son obtenidos de manera directa de la investigación de afloramientos de macizos rocosos o

a partir de sondeos con recuperación de testigos, permitiendo estos últimos investigar el macizo rocoso en profundidad. En este trabajo, se correlacionan las clasificaciones geomecánicas del RMR (Bieniawski, 1989) y la Q (Barton, 2002) en el macizo rocoso que atravesará el túnel Transcordillerano con la información generada para el Estudio de Factibilidad de la Segunda Etapa del Proyecto de Agua Potable Ríos Orientales, ramal Quijos-Papallacta-Paluguillo, realizado por la Asociación Corpcosul-Ingeconsult (EPMAPS, 2013). Este túnel tiene una longitud de 20,06 km, una cota 3125 msnm en el emboquille de entrada y 3100 msnm en el de salida. Se trata de un túnel de sección circular con un diámetro de 6,7 m que por gravedad conducirá el agua desde los poblados de Papallacta a Paluguillo con una pendiente del 0,075 %.

## MARCO GEOLÓGICO

La zona de estudio se localiza entre las provincias de Pichincha y Napo a 40 km al Sureste de Quito

(Ecuador), emplazada en la Cordillera de los Andes en el límite del Valle Interandino y la Cordillera Real. El trazado del túnel Transcordillerano en su mayoría se proyecta en el entorno de la Caldera volcánica Chacana, que se encuentra construida sobre un basamento metamórfico de edad Paleozoico-Mesozoico constituido en su zona central y oriental por granitos gnéisicos, esquistos y gneises. El basamento de sus flancos occidentales serían secuencias volcánicas y sedimentarias de origen oceánico del terreno Pallatanga de edad Cretácico, que no se encuentran expuestas en superficie (Villares, 2010). Además, se encuentra cubierto por potentes secuencias volcánicas de piroclastos y flujos de lavas andesíticas de la (Formación. Pisayambo) de edad de 8 a 6 Ma. Esta formación representaría las fases iniciales y poco evolucionadas de numerosas cámaras magmáticas, que posteriormente darán lugar a la Caldera Chacana.

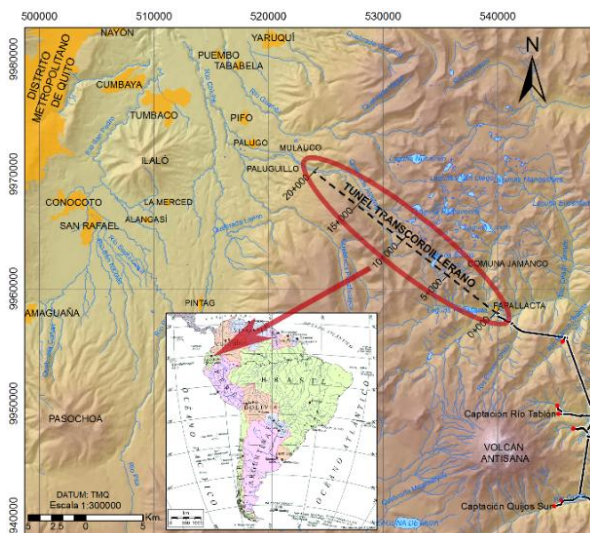


FIGURA 1. Ubicación del túnel Transcordillerano en la zona de estudio (EPMAPS, 2013).

La formación de la caldera se inició aproximadamente hace 2,7 Ma (Hall y Mothes, 2008) con la construcción de la serie Tablones, que consta de depósitos piroclásticos y al menos tres secuencias de andesitas, dacitas y riolitas. Su colapso fue hace unos 0,8 Ma con la formación de la caldera y emisión de grandes volúmenes de magmas riolíticos. El colapso de la caldera produjo una depresión que inicialmente fue rellenada por brechas e ignimbritas sin-colapso. Posteriormente fue rellenada por secuencias volcánicas de andesitas y dacitas, seguidas de un ambiente tranquilo con el depósito de sedimentos lacustres.

Existe un periodo de inactividad hasta los 240 ka, cuando en el interior de la caldera se produce el emplazamiento de domos, coladas de lavas de composición dacítica y riolítica ubicados a lo largo del borde estructural de la caldera (Beate et al., 2009). Esta resurgencia precedió a la actividad volcánica explosiva (riolítica) que empezó hace 210 ka y que generó flujos y caídas de pómez. En las posteriores erupciones de los

180 a 165 ka, cayó un extenso depósito de pómez en toda la región, lo que fue seguido por grandes flujos de obsidiana dentro de la caldera. Varios flujos de lava de composición andesítica y dacítica han sido depositados desde una franja de fracturas en la caldera en los últimos 40 ka (EPMAPS, 2013).

Finalmente, los depósitos superficiales de cobertera entre los que se destacan: depósitos glaciares, aluviales, coluviales, glaciares, flujos de lodo y deslizamientos.

## METODOLOGÍA

Se ha considerado el modelo geológico-geotécnico realizado en el Estudio de Factibilidad de la Segunda Etapa del Proyecto de Agua Potable Ríos Orientales (EPMAPS, 2013), obtenido a partir de estudios anteriores, mapeo geológico, sondeos, investigaciones geofísicas (sísmica de refracción, magneto-telúrica y sondeos eléctricos verticales). A partir de este modelo se ha establecido una zonificación geotécnica del túnel Transcordillerano, distinguiéndose las siguientes unidades geotécnicas: UG1-Gneis Cuarzo Azul, UG2-Serie Riolítica Baños, UG3-Domos-Cuellos volcánicos, UG4-Volcánicos La Virgen, UG5-Tobas y Brechas, UG6-Secuencia Volcánica Indiferenciada, UG7-Vitrófiro El Tablón y UG8-Flujo de lava Palugullo.

Los datos necesarios para realizar las clasificaciones geomecánicas fueron obtenidos en la traza del túnel Transcordillerano a partir de 39 estaciones geomecánicas, 10 sondeos con recuperación de testigos, ensayos de carga puntual in situ y ensayos de laboratorio (41 de resistencia a la compresión simple con medida del módulo de deformabilidad, 33 de resistencia a tracción indirecta y 3 triaxiales).

Las clasificaciones geomecánicas RMR y Q se han aplicado para cada unidad geotécnica por separado. Los resultados fueron agrupados en histogramas de frecuencias con la finalidad de obtener rangos de calidad del macizo rocoso para cada unidad geotécnica. Por último, se han establecido varias correlaciones empíricas entre los índices Q y RMR por cada unidad geotécnica y, finalmente, una correlación general para las unidades volcánicas presentes en el túnel Transcordillerano. Estas correlaciones han sido comparadas con las expresiones propuestas por los propios autores de las clasificaciones RMR y Q (Bieniawski, 1989; Barton, 1995). Las unidades geotécnicas UG3 y UG7 han sido excluidas del análisis debido a que no se realizaron sondeos en ellas y a que los datos disponibles son insuficientes para realizar las clasificaciones geomecánicas.

## RESULTADOS

La distribución de datos y su correspondencia gráfica entre el RMR y Q sugiere que se puede aplicar

correlaciones con la finalidad de obtener una correspondencia entre los dos índices aplicable para las unidades volcánicas presentes en el Túnel Transcordillerano. En la Figuras 2 y 3 se puede observar la densidad de datos por cada unidad geotécnica, siendo las unidades UG4 y UG6 las que tienen menor cantidad de datos. A continuación, se resumen las diferentes ecuaciones de correlación entre el índice RMR y Q obtenidas para cada una de las unidades geotécnicas, junto con sus respectivos coeficientes de correlación (Tablas I y II). En general, los coeficientes de correlación son bastante aceptables ( $R^2 > 62\%$ ), excepto para las unidades UG5 y UG8. También se muestran las relaciones obtenidas para el conjunto de todas las unidades geotécnicas (Figura 4), que podrían ser consideradas como expresiones generales para este tipo de materiales volcánicos, obteniéndose también una buena correlación entre ambos parámetros ( $R^2 > 70\%$ ).

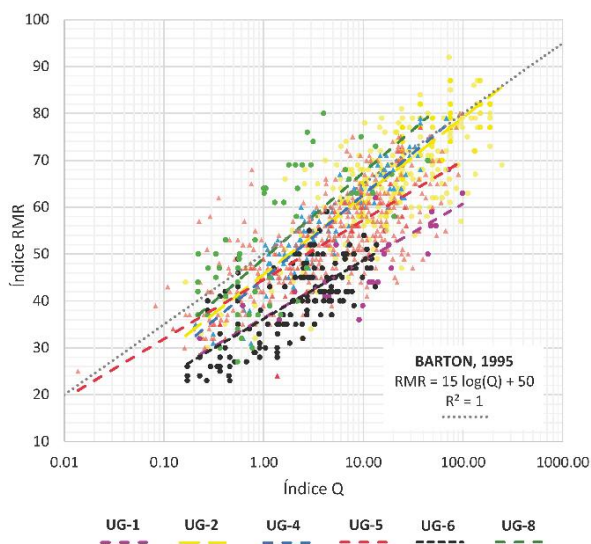


FIGURA 2. Estimación del RMR a partir de índice Q para cada unidad geotécnica.

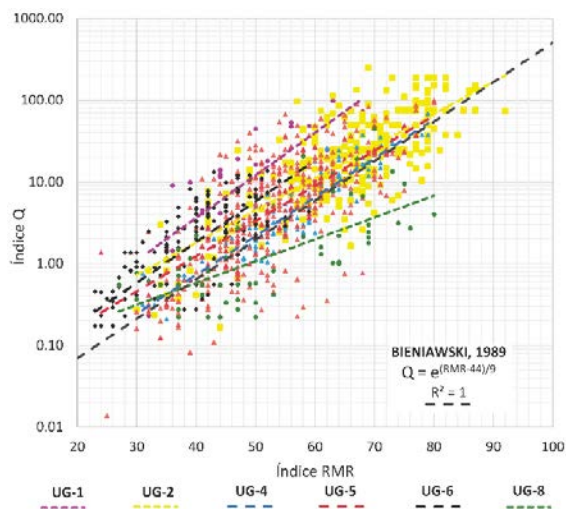


FIGURA 3. Estimación del índice Q a partir del RMR para cada unidad geotécnica.

Unidad geotécnica	RMR	$R^2$
UG1	$5,28 \cdot \ln(Q) + 36,40$	0,633
UG2	$7,26 \cdot \ln(Q) + 45,67$	0,658
UG4	$7,75 \cdot \ln(Q) + 44,77$	0,849
UG5	$5,50 \cdot \ln(Q) + 44,54$	0,545
UG6	$5,43 \cdot \ln(Q) + 36,15$	0,623
UG8	$7,97 \cdot \ln(Q) + 49,02$	0,490
TTC	$7,33 \cdot \ln(Q) + 42,60$	0,708

TABLA I. Ecuaciones de correlación para el RMR en función del índice Q obtenidas para las diferentes unidades geotécnicas y para el conjunto de los materiales volcánicos del túnel Transcordillerano (TTC).

Unidad geotécnica	Q	$R^2$
UG1	$0,030 \cdot e^{0,119 \cdot RMR}$	0,633
UG2	$0,047 \cdot e^{0,091 \cdot RMR}$	0,658
UG4	$0,009 \cdot e^{0,109 \cdot RMR}$	0,849
UG5	$0,023 \cdot e^{0,099 \cdot RMR}$	0,545
UG6	$0,018 \cdot e^{0,114 \cdot RMR}$	0,623
UG8	$0,049 \cdot e^{0,060 \cdot RMR}$	0,490
TTC*	$0,027 \cdot e^{0,096 \cdot RMR}$	0,708

TABLA II. Ecuaciones de correlación para el índice Q en función del RMR obtenidas para las diferentes unidades geotécnicas y para el conjunto de los materiales volcánicos del túnel Transcordillerano (TTC).

## CONCLUSIONES

Se han establecido diferentes relaciones empíricas entre las clasificaciones geomecánicas RMR y Q, en particular se pudo establecer estas correlaciones por unidades geotécnicas y una global en los materiales volcánicos que atravesará el Túnel Transcordillerano. De manera general el coeficiente de correlación para el túnel se establece en un valor aceptable, permitiendo clasificar de mejor manera este macizo rocoso. No obstante, al tratarse de datos obtenidos en una fase de factibilidad, sería necesario realizar un mayor número de investigaciones con la finalidad de disminuir incertidumbres en las unidades geotécnicas que tienen los coeficientes de correlación más bajos ( $R^2 < 60\%$ ), así como en las unidades donde los datos han sido insuficientes. Esto permitiría alimentar una base de datos con la finalidad de obtener una mejor aproximación del comportamiento geomecánico de macizos rocosos volcánicos.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS) por facilitar la información concerniente al Proyecto de Ríos Orientales-Túnel Transcordillerano, a las distintas personas que han participado en este proyecto y a sus destacados ingenieros Alfredo de la Cruz y Oscar Larrea de EPMAPS.

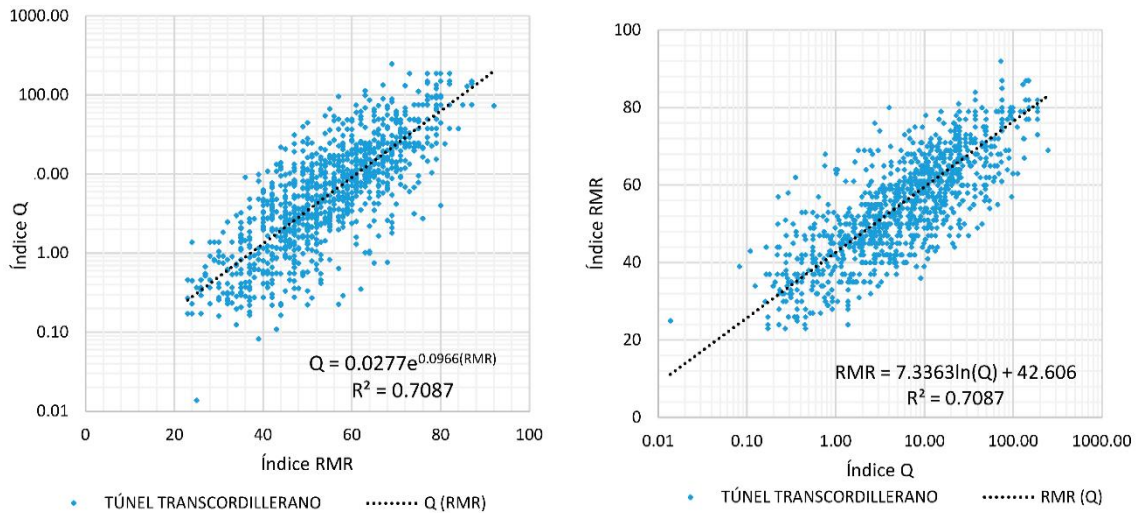


FIGURA 4. Izquierda: Estimación del índice Q a partir del RMR para el conjunto de los materiales volcánicos del túnel Transcordillerano. Derecha: Estimación del RMR a partir de índice Q para el conjunto de los materiales volcánicos del túnel Transcordillerano.

## REFERENCIAS

- Barton, N. (1995): The influence of joint properties in modelling jointed rock masses. *Keynote Lecture, 8th ISRM Congress (Tokyo)*, 3: 1023-1032.
- Barton, N. (2002): Some new Q-value correlations to assist in site characterization and tunnel design. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 39, 185-216.
- Beate, B., Villares, F., Inguaggiato, S., Hidalgo, S., Benitez, S. (2009): Modelo Geotérmico Preliminar de tres Áreas de Interés en la Caldera Cuaternaria resurgente de Chacana y estimación teórica de su potencial Geotermoelectrico. *Revista Politécnica*, 70-91.
- Bieniawski, Z.T. (1989): *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. John Wiley & Sons, New York. 272 p.
- EPMAPS (2013): *Estudio de Factibilidad de la Segunda Etapa del Proyecto de Agua Potable Ríos Orientales, ramal Quijos - Papallacta - Paluguillo*. Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito, 79 p.
- Hall, M. y Mothes, P. (2008): The Chacana Caldera Complex in Ecuador. En: *IOP Conference Series: Earth and Environment Science*, 3: 1-4.
- Villares, F. (2010): *Estudio Geovolcanológico de la zona Sur de la Caldera Chacana, Provincias de Napo-Pichincha*. Tesis, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 209 p.