



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

journal homepage: [www.sgp.org.pe](http://www.sgp.org.pe) ISSN 0079-1091

## CORRELACIÓN ENTRE LA PERMEABILIDAD IN SITU, CALIDAD Y LITOLOGÍA DEL MACIZO ROCOSO. CASO DE ESTUDIO

Melissa Bustos<sup>1</sup>, Manuel Marcelo<sup>1</sup>, Cristian Erazo<sup>2</sup>

**Resumen:** Los análisis de filtraciones asociados a presas de relaves por lo general toman en consideraciones parámetros hidráulicos como la conductividad hidráulica de los materiales que se encuentran como materiales antrópicos: dique de relave, dique de arranque y relaves depositados y fundación: depósitos coluviales, aluviales, morrénicos y basamento rocoso, es por ello su vital importancia en caracterizar in situ y mediante de ensayos de laboratorio dichas propiedad.

En campo se realizan los ensayos de permeabilidad del tipo lugeon y lefranc de acuerdo con el tipo de material, con la intención de obtener propiedades de conductividad hidráulica. Asimismo, en laboratorio mediante la extracción de muestras representativas se someten a ensayos de pared rígida y flexible asociado a esfuerzos de confinamientos representativos.

Esta investigación se enfoca en estudiar la fundación asociado al basamento rocoso es por ello que se tiene como objetivo correlacionar la calidad del macizo rocoso mediante el RMR básico y la permeabilidad tomada en campo identificando el tipo de ensayo, ya que un suceso particular que se ve a menudo es la no correcta toma de lecturas de los ensayos de permeabilidad. Para este documento se han recopilado datos de diversas ubicaciones de proyectos mineros y se han agrupado de acuerdo con su litología presentando algunas correlaciones.

**Abstract:** The analysis of seepage associated with tailings dams usually takes into consideration hydraulic parameters such as hydraulic conductivity of the materials found as anthropic materials: tailings dam, starter dam and deposited tailings and foundation: colluvial, alluvial, morainic and bedrock deposits, which is why its vital importance in characterizing in situ and through laboratory tests these properties.

In the field, lugeon and lefranc permeability tests are carried out according to the type of material, with the intention of obtaining hydraulic conductivity properties. Likewise, in the laboratory, representative samples are extracted and subjected to rigid and flexible wall tests associated with representative confining stresses.

This research is focused on studying the foundation associated to the bedrock; therefore, the objective is to correlate the quality of the rock mass by means of the basic RMR and the permeability taken in the field, identifying the type of test, since a particular event that is often seen is the incorrect taking of readings of permeability tests. For this paper data has been collected from various mining project locations and grouped according to their lithology presenting some correlations.

**Palabras Clave:** Macizo, permeabilidad, RMR, basamento, correlación, litología.

**Keywords:** Permeability, RMR, bedrock, correlation, lithology.

### 1. Introducción

Las clasificaciones geomecánicas se utilizan en los estudios geotécnicos con el objetivo de determinar y evaluar de forma cuantitativa y cualitativa la calidad de los terrenos con el fin de definir aspectos de diseño, construcción y estabilidad. Las clasificaciones “*Rock Mass Rating*”, RMR de sus siglas en inglés, (Bienawski, 1989) y Q (Barton, 2007) son las más difundidas. Asimismo, es de uso común la realización de pruebas de permeabilidad in situ (Lugeon y Lefranc) con los cuales se obtienen valores de conductividad hidráulica.

Los ensayos de permeabilidad in situ representan al terreno al realizarse correctamente, sin embargo, son falibles dado que dependen del factor humano,

por ende, se contrasta la permeabilidad in situ y la calidad del macizo rocoso con el fin de verificar la representatividad de los datos obtenidos.

El presente caso de estudio correlaciona el RMR básico ( $RMR_{89}$ ) y los valores de conductividad hidráulica, los cuales están condicionados por las discontinuidades, litología y profundidad, así como otros diversos factores.

### Ensayos de permeabilidad in situ

Los ensayos más comunes corresponden a los ensayos Lugeon (realizados en macizos rocosos), Lefranc (llevado a cabo en suelos relativamente permeables o macizos rocosos muy fracturados).

El ensayo Lugeon (también conocido como Ensayo Packer) es una prueba de presión de agua, en la que se aísla una sección del pozo de perforación y se bombea agua en esa sección hasta que el caudal sea constante. Los resultados de este ensayo dependen esencialmente de las fracturas que pueda tener la roca la cual se relaciona directamente con la calidad del macizo rocoso.

El ensayo Lefranc usualmente es usado para determinar la permeabilidad en suelo, pero también es usada para macizos rocosos muy fracturados y donde es imposible colocar el packer para el ensayo lugeon dado que podría dañarse o no obtener el tramo de ensayo de manera adecuada.

### Clasificación de Bieniawski

Es muy usado el RMR para para la clasificación del macizo rocoso, es un método cuantitativo que toma en cuenta diferentes parámetros tales como: la resistencia de la roca intacta, la calidad del testigo (RQD), espaciamiento de discontinuidades, estado de discontinuidades, aguas subterráneas y orientación de discontinuidades.

## 2. Desarrollo

### Caracterización del área de estudio:

Se ha recopilado información de campo de sondajes de acuerdo con siete (7) proyectos ubicados a lo largo del Perú tal como se muestra en la Figura 1, entre los que tenemos los siguientes departamentos: Cajamarca, Ancash, Pasco, Arequipa, Ayacucho, Apurímac y Moquegua. La mayoría de los sondajes se encuentran en estribaciones de la cordillera occidental, es por ello la presencia de material con origen volcánico, volcano-sedimentario y secuencias sedimentarias que incluyen diversas litologías como: andesitas, dacitas, areniscas,

calizas, lutitas y limolitas, las cuales han servido para definir una correlación entre la permeabilidad in situ y la calidad del macizo rocoso expresado en términos de valores de RMR.

Las perforaciones consideradas se realizaron con fines geotécnicos para la caracterización del terreno de fundación y estimación de parámetros de los diferentes estratos tanto para suelo y roca, es así que se ha aprovechado dicha información para la elaboración del presente caso de estudio.



**Figura 1: Ubicación de Proyectos considerados en el presente estudio**

## 3. Datos y Metodología

La recopilación de datos considera la calidad del macizo rocoso expresado en términos de valoración RMR de acuerdo con Bieniawski - 1989, tipo de litología y valores de permeabilidad in situ. El tramo de prueba de permeabilidad incluye corridas que presentaban variaciones en el RMR básico, para este tipo de casos se ha considerado los valores promedio, excluyendo valores no representativos.

Para el análisis se han recopilado 267 datos de 7 diferentes ubicaciones, en donde se realizó en su mayoría ensayos lugeon y algunos ensayos lefranc para tramos de roca muy fracturada. El resumen de la cantidad de datos utilizados y su litología ha sido: (72) andesita porfírica, (29) arenisca, (04) arenisca/lutita, (07) brecha, (103) caliza, (05) lava andesítica, (09) limolita, (04) lutita, (19) mármol, (05) monzodiorita, (05) toba andesítica y (09) toba dacítica.

Finalmente se han graficado valores de permeabilidad versus la valoración de  $RMR_{89}$  en una escala semilogarítmica, obteniéndose una

relación con las características geomecánicas y litología de la roca expresadas con un ajuste exponencial.

4. **Discusión de resultados**

La Figura 2 muestra de acuerdo con cada litología en el eje horizontal la conductividad hidráulica o

permeabilidad (K) expresada en metros por segundo (m/s), en el eje vertical el valor de RMR, la línea roja muestra la correlación o ecuación de K estimada de acuerdo a un ajuste exponencial del RMR, además se ha dividido en 4 zonas la conductividad hidráulica de acuerdo con lo formulado por Bell en el año 1992, donde el color verde representa

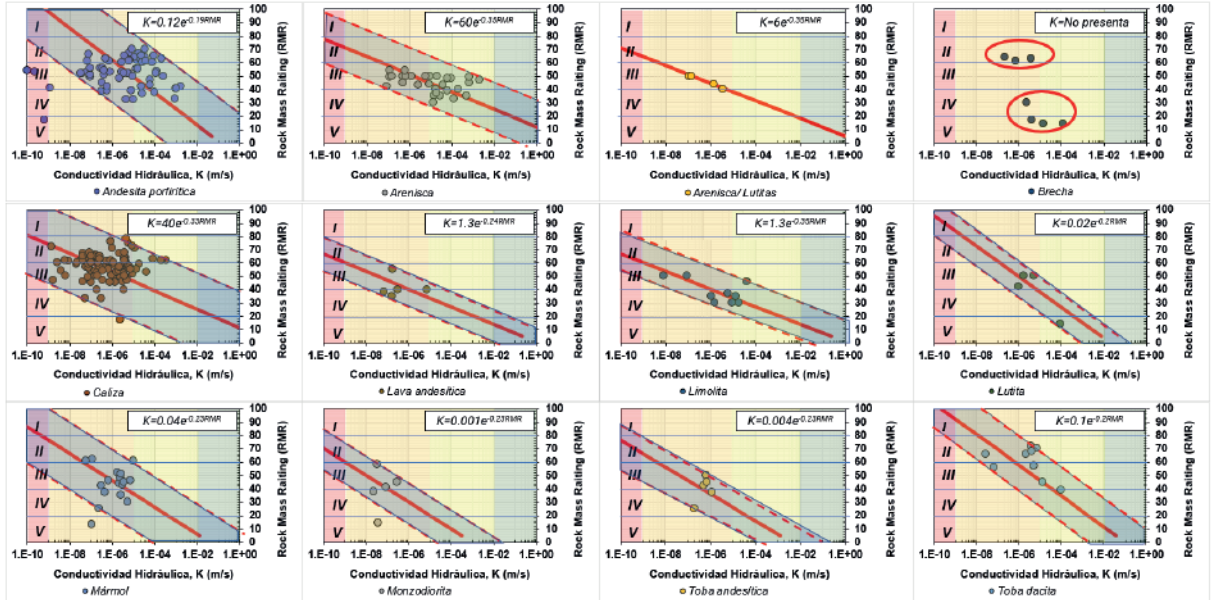


Figura 2: Estimación de correlación de acuerdo con litología

Litología	Rango de RMR	Valores	Permeabilidad (m/s)				Correlación estimada
			Efectivamente Impermeable	Ligeramente permeable	Moderadamente permeable	Altamente Permeable	
Andesita porfírica	II a IV	1E-10 a 1E-02	X	X	X		$K=0.12e^{-0.19RMR}$
Arenisca	III a IV	1E-08 a 1E-02		X	X		$K=60e^{-0.35RMR}$
Arenisca/lutitas	III	1E-07 a 1E-05		X			$K=6e^{-0.35RMR}$
Brecha	II y IV a V	1E-07 a 1E-03		X	X		No aplica
Caliza	II a V	1E-09 a 1E-03		X	X		$K=60e^{-0.35RMR}$
Lava andesítica	III a IV	1E-08 a 1E-05		X	X		$K=1.3e^{-0.24RMR}$
Limolita	III a IV	1E-08 a 1E-04		X	X		$K=1.3e^{-0.35RMR}$
Lutita	III y V	1E-06 a 1E-04		X	X		$K=0.02e^{-0.2RMR}$
Mármol	II a V	1E-08 a 1E-05		X			$K=0.04e^{-0.23RMR}$
Monzodiorita	III a V	1E-08 a 1E-06		X			$K=0.001e^{-0.23RMR}$
Toba andesítica	III a IV	1E-07 a 1E-06		X			$K=0.004e^{-0.23RMR}$
Toba dacítica	II a III	1E-08 a 1E-04		X	X		$K=0.1e^{-0.2RMR}$

Tabla 1: Resumen de resultados obtenidos

una zona con alta permeabilidad, el color amarillo una zona con moderada permeabilidad, el color naranja de ligera permeabilidad y por último el color rojo donde representa una zona efectivamente o casi impermeable. Por último, se ha dividido el eje vertical de acuerdo con la clasificación del macizo rocoso de Bienawski (1989) mostrándose los rangos establecidos de RMR: 81 a 100 (muy buena – I), RMR: 61 a 80 (buena – II), RMR: 41 a 60 (regular – I), RMR: 21 a 40 (mala – I), RMR: 0 a 20 (muy mala – I).

A partir de las gráficas mostradas en la Figura 2, se observa la variación por litologías. Para las rocas volcánicas que presentan mayor densidad de datos se obtienen tendencias más definidas mostrándose una relación de una buena calidad de macizo rocoso con una baja permeabilidad, comprobando que la mayoría de los ensayos se realizaron de manera adecuada.

Para los tramos brechados considerados geotécnicamente se aprecia que al poseer poca densidad de datos y una variación en la litología muy marcada no se ha establecido una correlación clara, y esto se aprecia en los círculos enmarcados en rojos. Asimismo, para las rocas sedimentarias como la caliza en donde también se observa una gran densidad de datos, se obtuvo una correlación bien definida en donde la buena calidad del macizo presenta una baja permeabilidad. La tabla 1 muestra el rango de RMR, permeabilidad y correlación estimada de acuerdo con la litología de la roca.

### 5. Conclusiones

- La ecuación obtenida de acuerdo con las correlaciones para cada tipo de litología es referencial para este caso de estudio, ya que a una mayor densidad de datos se puede mejorar la correlación estimada; sin embargo, se debe considerar la depuración de datos que no sean representativos tanto de permeabilidad como de RMR dado que dependen en cierta medida del factor humano.
- Se observa la influencia de la calidad y la litología del macizo rocoso en la permeabilidad de acuerdo con las correlaciones estimadas.
- Al realizar el análisis de los datos caracterizándolos de acuerdo con sus litologías favoreció a la definición de tendencias y obtención de una mejor estimación que si hubieran sido agrupados por material en este

caso roca o basamento rocoso.

- En los sondeos los cuales han presentado tramos caracterizados como brechas, zonas de falla, la estimación se ve afectada por la composición de distintos materiales que constituyen estas estructuras.

### 6. Contribuciones técnicas y científicas

- La metodología propuesta brinda lineamientos necesarios en la recolección y validación de datos de permeabilidad obtenidos del macizo rocoso, basándose en la relación estimada de la permeabilidad, la calidad de la roca y el tipo de litología tal como se muestra en la Figura 2.
- Si bien no se ha considerado la orientación de las discontinuidades y la influencia de la profundidad del tramo de ensayo o sondeo, con este documento se pretende dar a conocer un panorama de estudio con fines para futuras estimaciones e investigaciones en la evaluación del macizo rocoso relacionado con la estimación de permeabilidad de acuerdo con su litología.
- Se propone un estudio específico de tramos caracterizados como brechas dado que su comportamiento es errático.

### Referencias bibliográficas

- Barton N. 2006. 'Lecture Series on Rock Mechanics and Tunnelling'. School of Engineering, Griffith University, Gold Coast Campus.
- Bell F.G. 1992. 'Description and Classification of rock masses'. Chapter 3 in Engineering in Rock Masses edited by FG Bell, Butterworth Heinemann.
- Bieniawski, Z.T. 1989, Engineering rock mass classifications: A complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. John Wiley & Sons.
- J. Ameratunga, et al. 2016. 'Correlations of soil and rock properties in geotechnical engineering'
- Osinergmin. 2017. 'Guía de Criterios Geomecánicas para Diseño, Construcción, Supervisión y Cierre de Labores Subterráneas'.