

Caracterización del Macizo Rocosó de las Canteras de Añashuayco

Carlos Luza¹, Fernando Mango¹, José Castillo¹, Diory Cervantes¹, Rosa Ccalachua² y Ana Tunquipa²

¹ Facultad de Geología, Geofísica y Minas, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa

² Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa

Palabras clave: Ignimbrita, Macizo Rocosó y Caracterización geomecánica RMR

RESUMEN

El presente artículo busca clasificar/caracterizar el Macizo Rocosó (MR) de las canteras de Añashuayco. Que son una de las fuentes más importantes para obtener la ignimbrita blanca (más conocida como sillar), siendo además una roca representativa de la ciudad de Arequipa. Esta zona presenta grandes afloramientos de Roca, los cuales presentan pocos estudios geotécnicos. Por tal motivo este trabajo incide en describir las características más importantes de este macizo rocosó.

La investigación de los macizos rocosos en la cantera de Añashuayco se evaluó mediante clasificación geomecánica de Bieniawski-RMR, para ello se utilizaron 10 EG dentro del área de estudio con el método de Windows Sampling, utilizando ventanas de 15 por 25 m. aproximadamente, dependiendo de la cara del talud. En el ajuste de los parámetros geomecánicos se usaron datos de campo y ensayos mencionados. En el MR existen discontinuidades predominantes y permiten que su calidad sea clasificada como mala a regular. Esto permite zonificar el MR en dominios estructurales, de acuerdo con características similares, como: litología, espaciado de cada discontinuidad, presencia de agua, entre otros. Estos dominios estructurales pueden coincidir o no con rasgos geológicos.

INTRODUCCIÓN

El estudio del macizo rocosó de las Canteras de Añashuayco, es uno de los lugares que actualmente está ganando representatividad, ya que forma parte del camino turístico conocido como "La Ruta del Sillar". Además, en este lugar se realiza la extracción de la ignimbrita blanca, roca usada como material de construcción de en diversas localidades de Arequipa. La quebrada de Añashuayco está localizada en el distrito de

Uchumayo, tiene una extensión de aproximadamente 18 kilómetros (²). Ésta empieza a pies del volcán Chachani, uno de los volcanes más importantes de la famosa Ciudad Blanca, al lado del río Chili. El nombre de "Canteras del Sillar" se le dio precisamente porque éste es el principal material de construcción utilizado desde hace muchos años para las iglesias, casonas y conventos de Arequipa. Sin embargo, la existencia de problemas de inestabilidad lleva a la necesidad de abordar en estos estudios a fin de resolver el problema. Incluso el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) está al tanto de este riesgo geológico que es la inestabilidad de taludes, que puede generar la caída de bloques. La caracterización del macizo rocosó es un inicio para la solución del problema, permitiendo clasificarlo cualitativa y cuantitativamente, además de generar propuestas para la sostenibilidad y el posterior análisis de inestabilidad de los taludes. Porque esta inestabilidad puede conllevar a la pérdida de vidas humanas y económicas.

OBJETIVOS

Objetivo Principal

Caracterizar geomecánicamente el macizo rocosó de las canteras de Añashuayco.

Objetivo Específico

Determinar propiedades geomecánicas y físicas del macizo rocosó que permitan obtener parámetros para el RMR.

Verificar las Propiedades Petrológicas de las muestras de ignimbrita en la zona de estudio.

UBICACIÓN

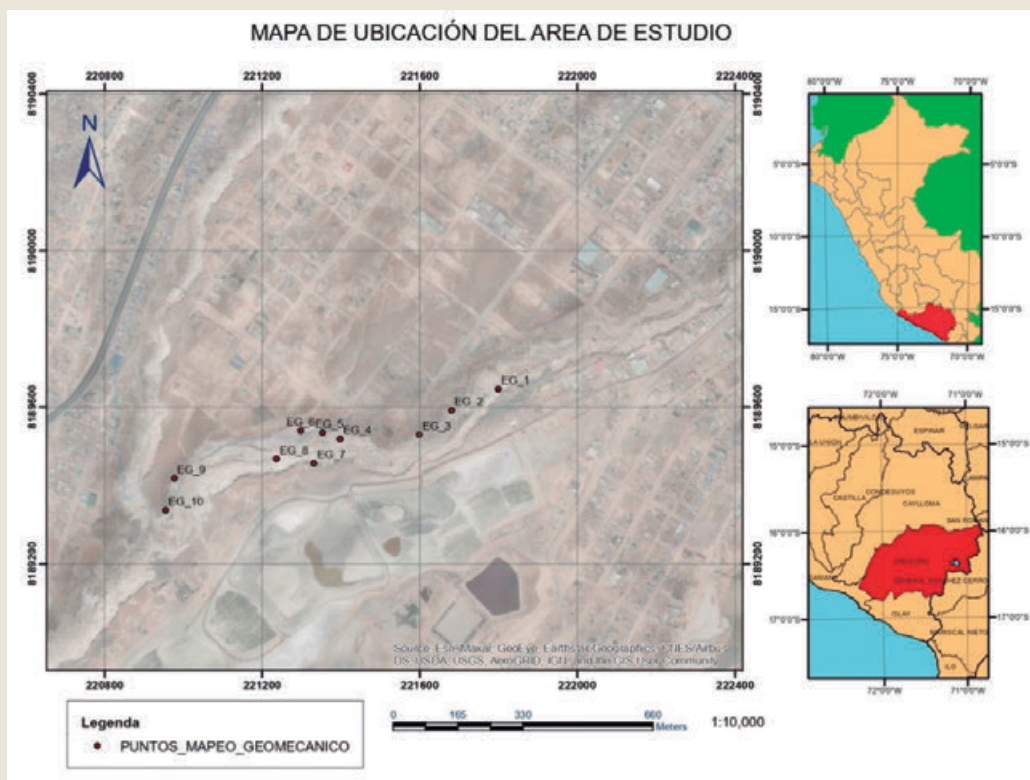
Las canteras de sillar de Añashuayco se encuentran en el distrito de Cerro Colorado, al norte de la ciudad de

Arequipa, a unos 13 km de la plaza de armas de Arequipa, actualmente es uno de los sitios turísticos recientemente creados que viene ganando reconocimiento y su afluencia turística ha ido en aumento en los dos últimos (Núñez & Sucso, 2019).

METODOLOGÍA

El trabajo realizado se divide en dos etapas. La primera consiste en un trabajo de campo efectuando

reconocimiento petrológico de la roca y levantamiento Geomecánico del macizo rocoso, y la segunda etapa se basa en la realización de ensayos geotécnicos para obtener valores de las propiedades físicas y mecánicas. La etapa de caracterización petrográfica permite determinar la composición mineralógica de las ignimbritas que complementarán al estudio de la caracterización geomecánica para el aprovechamiento de este recurso con fines industriales.



► Fig. 1 Mapa de localización del área de estudio en la quebrada de Añashuayco.

Se establecieron 10 Estaciones Geomecánicas (EG) dentro del área de estudio con el método de Windows Sampling, utilizando ventanas de 15 por 25 m. aproximadamente, dependiendo de la cara del talud. Se evaluó mediante clasificación geomecánica de Bieniawski-RMR determinando un valor de calidad del macizo rocoso. Los parámetros geotécnicos se sustentan mediante pruebas de laboratorio como el Ensayo de compresión uniaxial, Tilt test y Ensayo de Ultrasonido., obteniéndose así propiedades físicas y mecánicas del material en estudio.

► Caracterización petrológica macroscópica de las ignimbritas

Según el estudio petrográfico realizado por Alvarez (2021) utilizando muestras de la Quebrada Añashuayco, teniendo en cuenta las relaciones observadas en campo, como son: mayor proporción en cristales, fragmentos tanto cristales como líticos, etc. y haciendo uso de un microscopio petromineralógico polarizante; para complementar el estudio petrográfico (Figura).

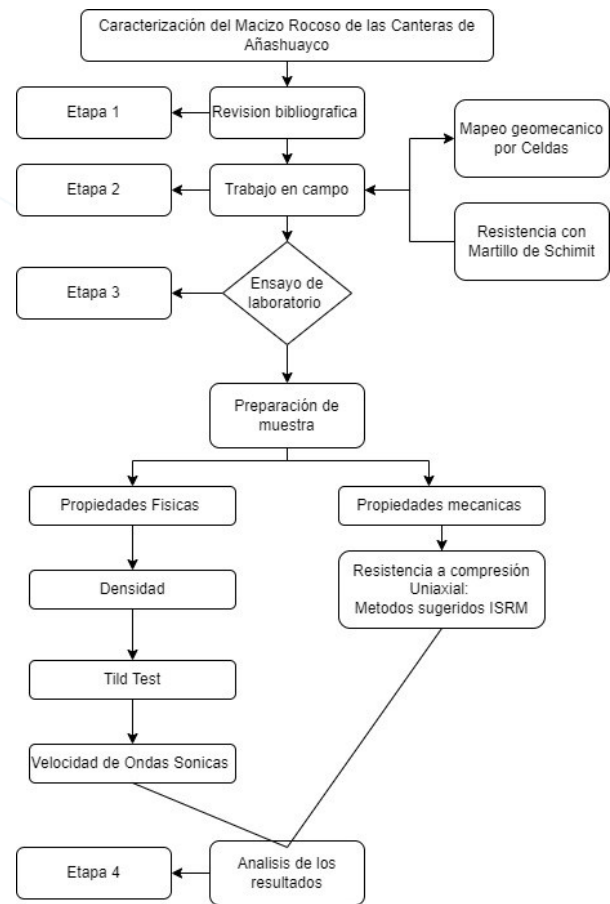
En referencia a los puntos muestreados se identificó poco contenido de cuarzo (<1%) presencia de cristales de plagioclasas (10%) algunos bien conservados y otros alterados (arcillas) y como minerales accesorios la biotita (<5%). También se encuentra presencia de fragmentos líticos (5 - 10%) que varían de 0.1 - 1.2 cm de color gris a marrón rojizo. La matriz (70%) es afanítica de color blanco de aspecto pulverulento algo alterada, Algunas muestras presentan clastos de pómez (<10%) de 0.1

- 0.5 cm. de color marrón claro de textura fibrosa formando pequeñas oquedades.

► Características de las Ignimbritas bajo el microscopio Petromineralógico

Lo más representativo de las muestras analizadas por Alvarez (2021) son rocas volcánicas piroclásticas que presentan en su litología, características correspondiente a una toba vitrocristalolítica de cenizas lapillis con un patrón textural hialocristalino y textura esencialmente vitrofídica, presencia de cristales de plagioclasas y biotita en una matriz de exclusivamente vidrio volcánico ácido (desvitrificado a material arcilloso), parcialmente perlítica y en partes vacuolar (Figura).

Con esta Información recabada y los análisis complementarios realizados concluye que son tobas



“Ignimbrita” Vitrocristalítica de cenizas > lapillis de composición aproximada de dacita - riolita.

► Caracterización geomecánica

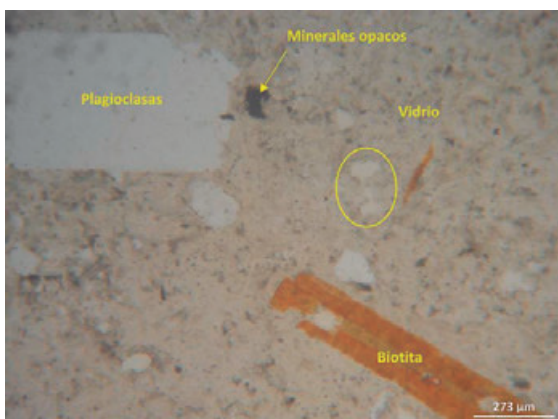
Se realizó mapeo geomecánica mediante celdas, en 10 estaciones. Para ejecutar la clasificación geomecánica se utilizó sistema RMR de Bieniawski. La estimación de la resistencia se realizó utilizando la tabla de índice de resistencia de (Brown et al., 1981), que es una estimación indirecta de la resistencia de la roca.

Para determinar el valor de RQD, se utilizó la ecuación de Palmstrom (2005).

$$RQD = 110 - 2.5J_v$$

► Determinación de las propiedades Mecánicas

Mediante el Ensayo de Tilt Test se determinó el Angulo fricción básico de las discontinuidades de la ignimbrita.



► Fig. 2 Nótese minerales opacos diseminados, roca de textura vitrofídica, conformada por fragmentos de cristales de plagioclasas y biotita en una matriz de vidrio volcánico. (Alvarez, 2021).

El ensayo de velocidad sónica de rocas determinó la velocidad de propagación de las ondas elásticas en la ignimbrita. Este procedimiento fue realizado haciendo uso del método recomendado por el ISRM (Aydin, 2013). Donde se analizó 05 muestras cilíndricas y bloques prismáticos.

Para determinar la resistencia a la compresión uniaxial, se realizó el ensayo UCS, el cual consiste en aplicar una carga de compresión de manera continua sobre un testigo cilíndrico de diámetro de "D" hasta producir su ruptura. Este ensayo se realizó siguiendo la metodología de ISRM: determinar la resistencia a la compresión y la deformabilidad uniaxial de materiales rocosos. La muestra la secuencia de la metodología de la investigación realizada.

► **Determinación de las propiedades físicas**

Basado en las sugerencias dadas por la ISRM se determinaron las propiedades físicas de cinco muestras de roca de forma cilíndrica, obteniéndose la densidad (Kg/ m³) y el peso específico (N/m³) de las muestras.

Este procedimiento fue realizado haciendo uso del método recomendado por el ISRM (Aydin, 2013). Donde se analizó 05 muestras cilíndricas y bloques prismáticos.

Resultados y Análisis

► **Clasificación geomecánica**

Para establecer la valoración y calidad del macizo rocoso se realizó el mapeo Geomecánico en las 10 estaciones usando la clasificación geomecánica RMR. Los resultados se muestran resumidos en la junto a la calidad cualitativa del estado del macizo rocoso.

► **Resultados y análisis de ensayos de laboratorios**

Respecto a las propiedades físicas determinadas con el equipo de ultrasonido se obtuvieron las velocidades de onda de la ignimbrita blanca (ver) que permiten establecer propiedades dinámicas de las rocas, a través de testigos cilíndricos obtenidos a partir de los bloques muestreado en campo.

Ver Tabla N°3 y 4 para observar los resultados.

Número de Estación	Valoración RMR	Tipo de Macizo Rocoso
EG 001	61	BUENA
EG 002	63	BUENA
EG 003	55	REGULAR
EG 004	44	REGULAR
EG 005	70	BUENA
EG 006	50	REGULAR
EG 007	64	BUENA
EG 008	58	REGULAR
EG 009	75	BUENA
EG 010	70	BUENA

► **Tabla 1 Valoración del macizo rocoso de las 10 estaciones geomecánicas volcánico.**

Número de Muestra	Velocidad de transmisión de ondas en m/s
Muestra 001	1728.6298
Muestra 002	1831.3238
Muestra 003	1800.776
Muestra 004	1837.092
Muestra 005	1877.748

► **Tabla 2 Resultados de densidad y peso específico aparente de la ignimbrita blanca.**

Número de Muestra	Velocidad de transmisión de ondas en m/s
Muestra 001	1728.6298
Muestra 002	1831.3238
Muestra 003	1800.776
Muestra 004	1837.092
Muestra 005	1877.748

► **Tabla 3 Resultados de velocidad de transmisión de onda promedio sobre las 05 muestras de ignimbrita.**

Valor Promedio	Desviación Estándar	Valor Máximo	Valor Mínimo
1815,11 m/s	55.57	1877,75 m/s	1728,63 m/s

► **Tabla 4 Resumen de valores estadísticos sobre los resultados de la velocidad de transmisión de onda.**

Metodología	Schmidt Hammer Rebound Hardness	UCS en MPa Diagrama de Miller
ISRM, 2008	34,60	27,2
ASTM, 2005	35,39	27,5

► **Tabla 5 Resultados de resistencia a la compresión uniaxial (UCS) estimados del rebote de dureza del martillo de Schmidt.**

Número de Muestra	Resistencia a la compresión uniaxial(MPa)
M-S-09	12.231
M-S-10	10.402
M-1	9.132
M-S-05	10.322
M-4	8.731

► **Tabla 6 Resultados de resistencia a la compresión uniaxial por el ensayo de compresión uniaxial.**

Propiedad	Metodo aplicado	Valor promedio
Densidad aparente de la roca	Metodo sugerido por el ISRM	1178 Kg/m ³
Peso Especifico aparente de la roca	Metodo sugerido por el ISRM	11,65 KN/m ³
Velocidad de transmisión de ondas	Ensayo de pulso de transmisión Ultrasonico	1815,11 m/s
Resistencia a la compresión	Ensayo de Compresión Uniaxial	10,167 MPa
Resistencia a la compresión	Estimado usando el martillo de Schmidt	27,35 MPa
Coefficiente de Poisson	Ensayo de deformaciones elásticas-uniaxial	0.176
Modulo de Elasticidad	Ensayo de deformaciones elásticas-uniaxial	3.069 GPa
Ángulo de fricción básico	Ensayo de Tilt Test	33 grados

► **Tabla 7 Resumen de propiedades físicas, resistentes y/o mecánicas de la Ignimbrita del Aeropuerto, facie blanca (Sillar de Arequipa).**

Minerales	Composición Normalizada c(%)	V. Teórica Vt (m/s)	V. Teórica Concentrada Vpt (m/s)	Velocidad real de ondas P Vp(m/s)	Índice de Calidad IQ=(Vp/Vpt) x100
Cuarzo	83%	6050	6057.032	1815.11	29.97%
Plagioclasa	11%	6250			
Biotita	6%	5800			

► **Tabla 8 Determinación del Índice de Calidad (IQ, mediante la velocidad de propagación de ondas ultrasónicas.**

También se realizó ensayos para obtener propiedades resistentes y/o mecánicas con el Martillo de Schmidt o esclerómetro de tipo L, tomando 23 lecturas. Los valores de rebote fueron analizados aplicando el tratamiento de datos recomendado por el método sugerido del ISRM (Aydin, 2009) y ASTM D 5873 (2005), donde los valores obtenidos fueron analizados para la estimación del UCS usando el diagrama de Miller.(Tabla N°5).

Respecto al ensayo de compresión uniaxial aplicando el método sugerido por ISRM (1979), se realizó 05 pruebas de laboratorio sobre testigos cilíndricos (.). Además, se realizó una prueba uniaxial de deformaciones elásticas donde se obtuvo el módulo de elasticidad axial y el coeficiente de Poisson. Por último, se tiene el valor de ángulo de fricción básico a partir del ensayo de Tilt Test propuesta por el ISRM (Alejano et al., 2018), para ver los resultados ir a la Tabla N°7.

Discusión

La muestra el resumen de los resultados de las propiedades físicas, resistentes y/o mecánicas caracterizadas de la ignimbrita del Aeropuerto blanca (sillar). Estos resultados deben ser tomados con cuidado debido a la heterogeneidad que presenta este tipo de roca volcánica donde el grado de soldadura, el porcentaje de pómez (fiamme) y el porcentaje de fragmentos líticos puede variar horizontalmente y verticalmente produciendo un cambio en los valores de las propiedades obtenidas.

Esto último se puede evidenciar en la diferencia de compresión uniaxial obtenido usando el Martillo de Schmidt y el ensayo de compresión uniaxial. Las diferencias podrían deberse a la baja resistencia de la roca que influye en el comportamiento del rebote en el martillo de Schmidt. Ahora los ensayos de compresión muestran una media de 10.16 MPa de resistencia uniaxial con una desviación estándar de 1.37 MPa. Mostrando a la ignimbrita de Añashuayco como una roca blanda respecto a los resultados del martillo de Schmidt que muestra como una roca moderadamente resistente. En cuanto a los ensayos de ultrasonido se obtuvo resultados del módulo de elasticidad longitudinal o de Young de 3.589 GPa, Al compararlo con el valor obtenido de Lara G. (1988) se reconoce una gran diferencia.

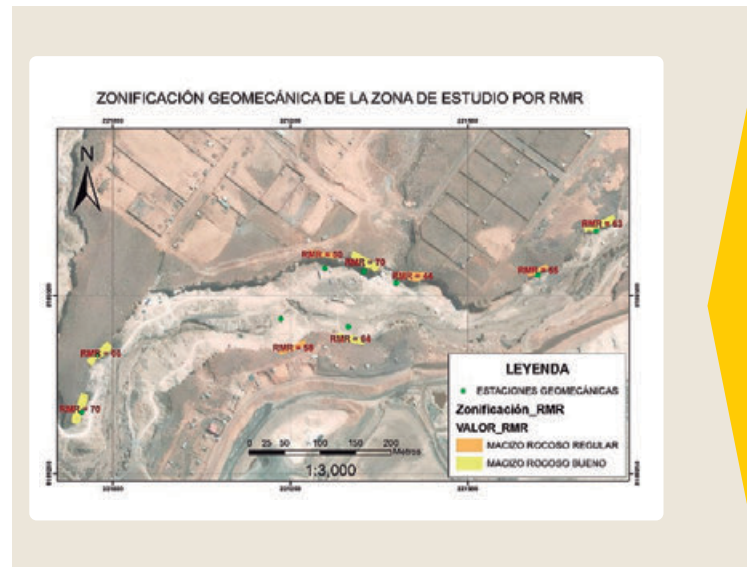
El módulo de rigidez obtenido confirma el comportamiento dúctil del material, que es reflejado en su gran trabajabilidad para ser moldeado o tallado por los artesanos de la zona. La relación de Poisson nos muestra ante cargas externas la muestra se deforma axialmente en una relación aproximada de 10 a 1 con respecto a la deformación lateral, esto producido por su elevada porosidad y fabrica.

De acuerdo con el ensayo de ultrasonido, en función de la velocidad longitudinal obtenida, se determinó el índice de calidad IQ propuesto por Fourmaintraux (1976), lo cual nos muestra que la ignimbrita en estudio tiene un Índice de Calidad relativamente bajo aparentemente por su alta porosidad y heterogeneidad que son los rasgos medidos por este tipo de análisis.

Respecto al macizo rocoso con el mapeo Geomecánico por ventanas y los resultados se zonifico la zona de estudio (Ver) para identificar las zonas de menor calidad del macizo rocoso de las paredes de la quebrada. Se observa que existen zonas con valoración cercana al rango malo donde se debe prestar mayor atención, pero predomina la valoración buena y regular. En las zonas de menor valoración se tiene un intenso fracturamiento local que podría

afectar a los turistas e infraestructura del lugar. Siendo necesario tomar medidas de mitigación como remover los bloques de sillar ubicados o medidas de prevención como colocar sostenimiento local apropiado.

Además, la zonificación tiene como utilidad ser la base para un estudio de riesgos teniendo en cuenta el nivel de peligro y vulnerabilidad.



► Fig.3 Zonificación Geomecánica de la zona de estudio por RMR.

CONCLUSIONES

El Macizo Rocosos de Añashuayco se puede clasificar geomecánicamente como un macizo da calidad regular a buena calidad, mostrando zonas con variaciones con RMR entre 44 -70, un índice RQD entre 50-75% que implica que es un macizo de calidad regular a buena.

La roca muestra un índice de calidad IQ de 29,97%, producto de su heterogeneidad y elevada porosidad. Podemos mencionar que a pesar de este resultado la calidad del macizo rocoso se ve como alentadora, aunque el mayor fracturamiento de algunas zonas unido a la baja resistencia y calidad de esta roca afectarían de forma negativa el comportamiento del Macizo Rocosos.

La resistencia, que geomecánicamente hablando una de las principales propiedades, se muestra con un valor promedio de 10.16 MPa y una desviación estándar de 1.37 MPa que indican que la ignimbrita es una roca blanda.

El módulo de Young de 3.589 GPa, implica que es una roca Dúctil, lo cual se refleja en la facilidad de ser tallada.

Dentro de sus propiedades físicas muestra una densidad de 1178 Kg/m³ y un peso específico de 11,65 KN/m³, que se relacionan de manera adecuada con su baja resistencia.

Finalmente se puede corroborar que los constituyentes de las ignimbritas de la zona de estudio, predominan fenocristales de plagioclasas 10%, biotitas 3%, líticos (8%), pómez (3%) y la matriz conforma el 74%, en relación a los

fenocristales y la matriz para la caracterización, Además se evidencian fragmentos líticos volcánicos piroclásticos sin alteración, se observa un comportamiento de composición ácida de dacítica a riolítica. Lo que indica que se trataría de la misma composición de la fuente de emisión del flujo piroclástico.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece amablemente al área de geotecnia de la UNSA, a su laboratorio por su apoyo y motivación al estudio Geomecánico en las canteras de Añashuayco.

REFERENCIAS

- ▶ Alvarez P. M. (2021). Caracterización Petromineralógica de las ignimbritas en la Quebrada de Añashuayco, Arequipa, pp 73-153.
- ▶ Alejano, L. R.; Muralha, J.; Ulusay, R.; Li, C. C.; Pérez- Rey, I.; Karakul, H.; Chryssanthakis, P. & Aydan, Ö. (2018). ISRM Suggested Method for Determining the Basic Friction Angle of Planar Rock Surfaces by Means of Tilt Tests. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 51(12), 3853–3859. <https://doi.org/10.1007/s00603-018-1627-6>
- ▶ ASTM International (2005). ASTM D 5873. Standard test method for determination of rock hardness.
- ▶ Aydin, A. (2009). ISRM Suggested method for determination of the Schmidt hammer rebound hardness: Revised version. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46(3), 627–634. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2008.01.020>
- ▶ Aydin, A. (2013). Upgraded ISRM Suggested Method for Determining Sound Velocity by Ultrasonic Pulse Transmission Technique. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 47(1):255–259. <https://doi.org/10.1007/s00603-013-0454-z>
- ▶ Brown, E. T., & International Society for Rock Mechanics. (1981). *Rock characterization, testing & monitoring: ISRM suggested methods*. Oxford: Published for the Commission on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics by Pergamon Press.
- ▶ Fourmaintraux, D. (1976), "Characterization of rocks; laboratory tests: Chapter IV in *La Mécanique des roches applique aux ouvrages du génie civil* by Marc Panet et al.", Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
- ▶ Lara G., J. (1988). *Ensayos de Albañilería en Sillar*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú Facultad de Ciencias e Ingeniería. pp 22-243
- ▶ Palmstrom, A. (2005). Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). *Tunnelling and Underground Space Technology*, 20:362-377. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2005.01.005>
- ▶ Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. (1979). *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 16(5), 102. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(79\)90262-6](https://doi.org/10.1016/0148-9062(79)90262-6)