



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“CARACTERIZACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL MACIZO ROCOSO EN FUNCIÓN A FACTORES GEOMECÁNICOS, GEOLÓGICOS Y AMBIENTALES DE UN PROYECTO MINERO”: una revisión de la literatura científica

Trabajo de investigación para optar al grado de:

**Bachiller en Ingeniería de Minas**

**Autores:**

Rolando Homer Robles Maquera

**Asesor:**

Ing. Elmer Ovidio Luque Luque

Cajamarca - Perú

2018

## DEDICATORIA

A dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, a mis padres por haberme apoyado en todo momento, a mis hermanos por su apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primeramente a Dios por toda la bendición que pone en mi vida, a mi familia por todo el apoyo brindado, que han hecho posible el desarrollo del presente proyecto.

## Tabla de contenido

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES.....</b>	<b>28</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>29</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>31</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: Propiedades mecánicas medidas de las rocas del método estándar .....	18
TABLA 2: Propiedades índices y esfuerzo último de los núcleos de roca .....	22
TABLA 3: Índice de dureza de indentación (IHI), resistencia a la compresión uniaxial (UCS), valores de resistencia a la tracción de Brasil (BTS) y algunos parámetros estadísticos .....	24

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1: Variación del módulo de elasticidad vs el esfuerzo normal aplicado para cada una de las velocidades ensayadas .....	18
FIGURA N° 2: Curvas de tensión-deformación por compresión dinámica para la arenisca en tres diferentes velocidades de carga aplicadas. ....	19
FIGURA N° 3: Curvas de fuerza-deformación obtenidas en las pruebas de resistencia a la flexión de los agregados. ....	20
FIGURA N° 4: Variación de la resistencia a compresión uniaxial según el contenido de humedad. ....	21
FIGURA N° 5: Variación de la resistencia a compresión uniaxial según la porosidad interconectada .....	21
FIGURA N° 6: BWi medio trazado contra UCS para los principales tipos de roca	23
FIGURA N° 7: La tasa de penetración en comparación con UCS para cuatro tipos de roca. ....	23
FIGURA N° 8: Histograma de valores de IHI.....	25
FIGURA N° 9: Histograma de valores UCS .....	25
FIGURA N° 10: Histograma de valores BTS .....	25
FIGURA N° 11: Movilización de la resistencia del eje local en pilotes de prueba.	26
FIGURA N° 12: Correlación entre $\sigma_c$ y TC.....	27

## RESUMEN

Las masas o macizos rocosos son medios geológicos con una diversidad de fallas, discontinuidades, grietas y roca intacta que afectan de una manera fuerte el rendimiento de estructuras de ingeniería. La caracterización y descripción de la masa rocosa o macizo rocoso se hace con la finalidad de identificar y determinar las propiedades y condiciones in situ por medio de ensayos UCS y PLT principalmente; con fines civiles y mineros: cimentaciones, excavaciones, de extracción y construcción. El objetivo es caracterizar de la Resistencia del Macizo Rocosos en Función a Factores Geomecánicos, Geológicos y ambientales de un Proyecto Minero. La metodología toma como punto base a la búsqueda de información; para se ha hecho uso de bases científicas como Scielo, Redalyc, Scielo, Google Académico Alicia.net, Cybertesis entre otras Bibliotecas virtuales. El número de fuentes cuarenta y cinco, de los cuales se han seleccionado a catorce para iniciar la redacción de la presente investigación teórica, este proceso de exclusión se hizo debido a que muchas fuentes carecían de resultados específicos, de una metodología completa, de procesamiento de datos por derechos de autor, que dificultaba la visibilidad del archivo, por tal no fueron tomados en cuenta. Se concluye que la resistencia de roca se ve afectada por sus propiedades físicas, químicas, mecánicas y geológicas.

**PALABRAS CLAVES:** Resistencia, macizo rocoso, UCS, PTL

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La caracterización y descripción de la masa rocosa o macizo rocoso se hace con la finalidad de identificar y determinar las propiedades y condiciones in situ (observadas en campo tal y como se encuentra), que a postrimería con estudios avanzados y métodos sofisticados se determina el comportamiento de las rocas ante actuaciones que se quiere realizar, llamase cimentaciones, excavaciones y especialmente con fines de extracción y construcción

**Fakhimi, Azhdaria & Kimberleyc (2018)** expresa que algunas de las operaciones en materiales rocosos desde la minería y las estructuras viales hasta cimientos de presas incluyen la aplicación dinámica de carga a la roca. El comportamiento de las rocas está en función a sus propiedades físicas, químicas y mecánicas; adicionalmente se hace mención intrínseca a la resistencia y estructura, condiciones geológicas y ambientales a que se encuentra sometidas (condiciones hidrográficas, estados tensionales y esfuerzos tectónicos), planos de discontinuidad, etc.; sin embargo la caracterización de macizos rocosos se ven afectado por la variabilidad espacial principalmente de sus propiedades y condiciones que involucran afloramientos, fracturamiento, tectónica y meteorización los cuales producen una complejidad al momento de caracterizar. Por otro lado, se debe abarcar parámetros y aspectos que son pragmáticos, observados, inferidos y medidos en los afloramientos, en el cual en primer lugar se tiene que identificar el material que lo compone a la masa rocosa, posterior a ello se debe clasificar en función a su petrografía los cuales establecen criterios en función de su composición, mineralogía y génesis.

**Ozturk, Nasuf & Kahraman (2014)** sostiene que la fuerza de las masas rocosas depende principalmente de las propiedades del material rocoso intacto y las discontinuidades. La resistencia del material de roca intacto depende de la composición y textura del mineral. La



fuerza de las masas rocosas puede, por lo tanto, obtenerse analizando las características del material rocoso intacto y las discontinuidades.

Las masas rocosas son medios geológicos complejos con múltiples grietas, uniones y fallas, que afectan fuertemente el rendimiento de estructuras de ingeniería en las masas rocosas. Tales discontinuidades primarias en rocas naturales son una fuente de inicio de nuevas grietas. Bajo las acciones de fuerzas externas de ingeniería, pueden crecer nuevas grietas a lo largo de todas las direcciones posibles y combinarse con fracturas primarias u otras grietas nuevas, lo que conduce a la degradación no lineal de la resistencia y la rigidez de las rocas. Por lo tanto, es necesario conocer el comportamiento de fracturamiento de la masa rocosa de múltiples fallas para interpretar y predecir con precisión las conductas de deformación de las rocas. (Zhou, Lian, Wong, & Berto, 2018)

Santos, Milene ,& Allan (2017) expresa que las masas de roca están hechas de rocas intactas e iscontinuities. Para cuantificar la calidad de las masas rocosas, varios autores han propuesto sistemas de clasificación geomecánica, como el RMR (Bieniawski 1989), el sistema Q (Barton et al. 1974), el GSI (Hoek 1994) y el RMi (Palmström 1995). Son herramientas importantes, ampliamente utilizadas por los ingenieros geotécnicos para la estimación de la masa rocosa y las propiedades de discontinuidad. El conocimiento de estas propiedades de resistencia es esencial para predecir fallas en pendientes urbanas, carreteras y mineras.

La razón justificable de la presente investigación se en marco de que sino se hace una buen una buen caracterización geomecánica y geotécnica de un macizo rocos los problemas repercuten y se agravan en las etapas siguientes mineras en ejecución, por ejemplo; Germiquett & Minnitt (2016) indica que las propiedades de roca tienen un impacto material en los procesos de minería, incluido el rendimiento de perforación. Así mismo, en

la etapa de perforación se puede tener una desviación de taladros o como menciona y en la voladura puede haber una mala fragmentación del material o producción de Flay rocks, por tanto, se plantea realizar ensayos de compresión a muestras de roca ya sea uniaxial, triaxial o simple para poder determinar la resistencia, esfuerzos y demás propiedades. Cabe mencionar que hay puntos en contra que impiden realizar un buen estudio, llámese alteraciones, fallas y estructuras geológicas; para tales se necesita de un buen equipo de trabajo, aptitudes y capacidad de ejecutar un buen estudio para obtener resultados eficientes.

El parámetro en el cual se enfatiza es la resistencia de roca determinados mediante métodos directos e indirectos. **Kahraman, Fener, & Kozman**, indica que la predicción de las propiedades de las rocas a partir de los métodos de prueba indirectos es importante, en particular para las investigaciones preliminares, ya que las pruebas indirectas son más fáciles y más económicas que las pruebas directas (**2014**); dentro de los cuales se encuentra Carga Puntual (UCS) que se usa ampliamente en la industria minera para cuantificar la resistencia de la roca, además del índice de carga puntual (PLI) convertidos a UCS ha revelado una relación directa entre el tamaño de grano y UCS (**Naeimipour, Rostami, Buyuksagis, & Frough, 2018**)

La resistencia a la compresión de la roca ( $\sigma_c$ ) tiene un efecto importante en el diseño de estructuras en la ingeniería de rocas. La resistencia a la compresión se puede determinar en el laboratorio utilizando la prueba de resistencia a la compresión uniaxial (UCS). También se usan algunas otras pruebas de índice, como la prueba de carga puntual, particularmente cuando las muestras adecuadas para UCS no están ( **Ozturk, Nasuf & Kahraman, 2014**)

**Fakhimi, Azhdaria, & Kimberleyc (2018)** sostienen que las rocas son materiales sensibles a la presión y dependientes de la velocidad y muestran un comportamiento drásticamente diferente bajo carga dinámica, cuyo estudio se ha convertido últimamente en el punto de interés. Dado que la carga de las rocas bajo carga dinámica se aplica a una variedad de velocidades de carga, es esencial estudiar los parámetros de resistencia dinámica de las rocas y las propiedades de fractura en un amplio rango de tasas de carga.

La evaluación de las propiedades de la masa rocosa es una entrada esencial para analizar la estabilidad de cualquier superficie o estructura subterránea en la roca. La disponibilidad de información geológica, que incluye la condición y la frecuencia de las discontinuidades, así como la resistencia de la roca, son los componentes principales de los sistemas de clasificación de masas rocosas y los análisis de resistencia y estabilidad relacionados. Uno de los parámetros importantes en la evaluación de las propiedades de la masa rocosa es la resistencia intacta de la roca (Naeimipour, Rostami, Buyuksagis, & Frough, 2018)

Por lo planteado anteriormente, se formuló el siguiente **problema de investigación**,

¿Con qué finalidad se caracteriza la Resistencia del Macizo Rocosó en función a Factores Geomecánicos, Geológico - ambientales de un Proyecto Minero?

Para lograr responderla se tiene como **objetivo general**; Caracterizar la Resistencia del Macizo Rocosó en Función a Factores Geomecánicos, Geológicos y ambientales de un Proyecto Minero.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

El tipo de investigación es **Teórica – Descriptiva** porque, tiene como objetivo central describir el comportamiento de una o más variables dependientes en una población definida o en una muestra de una población. En los cuales se ha tomado como base guía estudios que han sido patentados por investigadores anteriormente, de los cuales se ha seleccionado la información más relevante para estructurar el presente estudio.

**Experimental:** Ya que se tiene que hacer pruebas experimentales para determinar la Resistencia de roca por medio de ensayos de laboratorio

Las técnicas, instrumentos para recopilar los datos del presente estudio son los siguientes: Se buscó información de carácter similar al tema de investigación en diferentes fuentes informativas tales como: Revistas, Artículos Científicos, Papers, Tesis e Informes, provenientes de Bases científicas (Scielo, Science, Redalyc, Google académico, Cybertesis, Alicia.net, Bibliotecas virtuales, etc). El número de fuentes cuarenta y cinco, de los cuales se han seleccionado a catorce para iniciar la redacción de la presente investigación teórica, este proceso de exclusión se hizo debido a que muchas fuentes carecían de resultados específicos, de una metodología completa, de procesamiento de datos por derechos de autor, que dificultaba la visibilidad del archivo, por tal no fueron tomados en cuenta. Las palabras claves de búsqueda fueron:

Resistencia de Masa Rocosa,

Ensayos de compresión uniaxial,

Ensayos de carga puntual.

Geomecánica de rocas

Una vez descartado la información poco relevante y tomando la valiosa se procedió a la redacción del informe.

TÍTULO	AUTOR	AÑO	TIPO DE PUBLICACIÓN	OBJETO DE ESTUDIO	METODO DE ESTUDIO	RESULTADOS
Physical and numerical evaluation of rock strength in Split Hopkinson Pressure Bar testing	A.Fakhimia, P.Azhdari y J.Kimberley	2018	Artículo científico	Comparar los resultados físicos y numéricos en una simulación numérica.	Se utilizó la prueba de barra de presión de Hopkinson dividida (SHPB) para evaluar las características de resistencia de la piedra arenisca bajo carga uniaxial de compresión. Para la simulación numérica de las pruebas SHPB se utilizó un modelo de elemento finito de partículas enlazadas híbrido. Se introdujo un parámetro llamado coeficiente de mejora de la resistencia de la roca que se multiplica por la velocidad relativa de las partículas en los puntos de contacto para aumentar la fuerza de unión entre las partículas	Los resultados físicos sugieren que la resistencia de la roca aumenta bajo carga dinámica. Los resultados de las pruebas físicas muestran el factor de aumento dinámico (DIF) frente al logaritmo de la velocidad de deformación. DIF se define como la relación entre la resistencia dinámica y la resistencia estática del material
Estimation of rock strength from quantitative assessment of rock texture	C.A. Ozturk, E. Nasuf y S. Kahraman	2014	Artículo científico	El objetivo de este estudio es cuantificar la textura de la roca para estimar la resistencia de la roca a partir del coeficiente de textura (TC), que se determina a partir de una evaluación estadística de imágenes de sección delgada	La textura de la roca se cuantificó mediante doce imágenes diferentes de una sola sección delgada para aumentar la fiabilidad del análisis de textura. Se preparó un conjunto de datos para investigar las correlaciones entre TC y $\sigma_c$ . Las correlaciones estadísticas se calcularon después de clasificar las muestras de roca en función de su litología y las características del grano	La resistencia de la roca tiene un efecto material en el rendimiento de la perforación y la programación se puede optimizar. El proyecto reveló que las categorías de mineral se pueden adaptar para representar variables que afectan el rendimiento de la minería, incluido el potencial para

						<p>predecir el rendimiento de la planta.</p> <p>Los resultados aumentan la comprensión de la variabilidad geometalúrgica en las operaciones de minería cotidianas, lo que permite la optimización del proceso de recuperación posterior.</p>
Understanding the fracture behavior of brittle and ductile multi-flawed rocks by uniaxial loading by digital image correlation	X.P. Zhou, Y.J. Lian, L.N.Y. Wong y F. Berto	2018	Artículo científico	Evaluar el comportamiento de fracturamiento y el mecanismo de falla de las masas rocosas frágiles y dúctiles con defectos múltiples	<p>Se llevó a cabo un estudio de comparación sobre probetas rocosas de laboratorio frágiles y dúctiles que continúan nueve defectos preexistentes sometidos a compresión uniaxial.</p> <p>La técnica óptica avanzada usada fue imagen digital de correlación (DIC)</p> <p>El método de estimación de dimensión fractal se introdujo para rastrear cuantitativamente el proceso de fractura</p>	<p>Las observaciones sobre los modos de falla última indican que el modo de falla se transforma de falla de cizallamiento a falla de cizallamiento por tensión mixta, y luego a rotura de falla a medida que aumenta el índice de fragilidad.</p>
Applicability of geomechanical classifications for estimation of strength properties in	Tatiana B. Santos, Milene S. Lana, Allan E.M. Santos	2016	Artículo científico	Estudiar la aplicabilidad de las clasificaciones geomecánicas para obtener parámetros de fuerza de tres masas rocosas brasileñas	<p>Se han usado cuatro sistemas de clasificación; el Rock Mass Rating (RMR), la Rock Mass Quality (Q), el Geological Strength Index (GSI) y el Rock Mass Index (RMi). Una masa rocosa fuerte y dos masas rocosas blandas con diferentes grados de meteorización ubicadas</p>	<p>Los valores del ángulo de cohesión y fricción de la masa rocosa obtenidos a partir de la correlación con los parámetros del criterio de Hoek-Brown arrojaron un factor de valor de seguridad incompatible</p>

Brazilian rock masses	y Larissa R.C. Silveira				<p>en las ciudades de Ouro Preto y Mariana, Brasil.</p> <p>Las ecuaciones de correlación se usaron para estimar las propiedades de resistencia de estas masas rocosas.</p> <p>Para la calibración de los valores de resistencia obtenidos mediante el uso de sistemas de clasificación, se han realizado análisis de estabilidad de fallas en estas masas rocosas.</p>	<p>igual a 4.3 y 7.2, utilizando GSI y RMI, respectivamente.</p> <p>De acuerdo con los resultados presentados en este estudio, algunas de estas ecuaciones no son adecuadas para las masas rocosas estudiadas</p>
Rock Strength and Geometallurgical Modelling, Mogalakwena Mine	J. P. Germiquet y R.C.A. Minnitt	2016	Artículo científico	Determinar el rendimiento de la perforación a partir de las tasas de penetración en diferentes litologías	<p>Se utilizó datos de índice de carga puntual (PLI) convertidos a fuerza de compresión uniaxial (UCS).</p> <p>Las mediciones del nuevo sistema RockMa instalado en los equipos de perforación se utilizaron para obtener datos de resistencia de la roca para validar los dominios actuales de resistencia de la roca y crear datos adicionales para los siguientes bancos a continuación</p>	<p>Existe una relación inversa entre la resistencia de la roca y la tasa de penetración de la perforación: una medida de la eficiencia con que se perfora un agujero.</p> <p>El dominio de UCS ajustado por tamaño de grano en la Mina Mogalakwena permitió una programación más precisa de los equipos de perforación mediante un mayor conocimiento de la resistencia de la roca en diversas áreas.</p>



Predicting the compressive and tensile strength of rocks from indentation hardness index	S. Kahraman, M. Fener y E. Kozman	2012	Artículo científico	Investigar la predictibilidad de la resistencia a la compresión uniaxial (UCS) y la resistencia a la tracción brasileña (BTS) de las rocas desde el índice de dureza de indentación (IHI) obtenido utilizando el aparato de carga puntual	Se hicieron ensayos en Cuarenta y seis tipos de rocas diferentes, 14 de las cuales fueron ígneas, 15 fueron metamórficas y 17 fueron sedimentarias se probaron en el laboratorio. Los valores de UCS y BTS se correlacionaron con los valores de IHI correspondientes y los resultados se analizaron estadísticamente.	Se encontró una fuerte correlación entre UCS e IHI para todos los datos.  La correlación entre BTS e IHI no es tan fuerte como la correlación entre UCS e IHI.  UCS y BTS se pueden estimar a partir de IHI
Estimation of rock strength using scratch test by a miniature disc cutter on rock cores or inside boreholes	A. Naeimipour, J. Rostami, I.S.Buyuksagis y O. Froughb	2018	Artículo científico	Evaluación la resistencia de la masa rocosa basándose en análisis de las propiedades de roca	Para desarrollar una relación entre las fuerzas de corte y la resistencia de la roca, 27 rocas diferentes que cubren una amplia gama de fuerzas, tamaño de grano y orígenes han sido probadas con un cortador de discos en miniatura.	Los resultados muestran una correlación prometedora con los valores de R cuadrado de alrededor del 80% entre la fuerza normal promedio y la resistencia a la compresión (UCS) y resistencia a la tracción (BTS) de las rocas sedimentarias / metamórficas.  No se observó una correlación significativa para las rocas ígneas

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

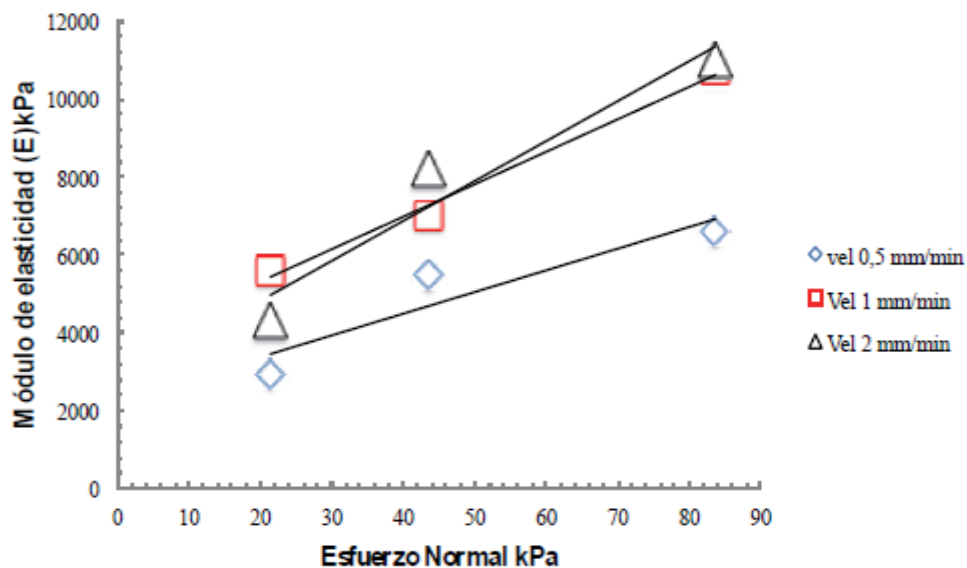
Los resultados muestran una correlación prometedora con los valores de R cuadrado de alrededor del 80% entre la fuerza normal promedio y la resistencia a la compresión (UCS) y resistencia a la tracción (BTS) de las rocas sedimentarias / metamórficas (Naeimipour, Rostami, Buyuksagis, & Frough, 2018, pp.6)

**TABLA 1:**

*Propiedades mecánicas medidas de las rocas del método estándar*

Rock type	$\varphi$ (degree)	C (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)
travertine	47	8.5	48
Onyx	55	19	100
Rhyolite	56	27.3	152

Fuente: Naeimipour, Rostami, Buyuksagis, & Frough (2018), pp.6

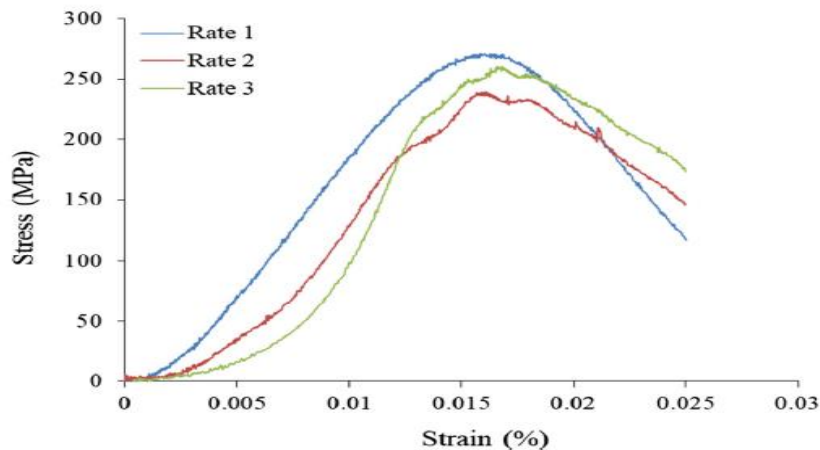


**FIGURA N° 1:** Variación del módulo de elasticidad vs el esfuerzo normal aplicado para cada una de las velocidades ensayadas

Fuente: Builes (2014), pp.7

En la **FIGURA N° 1** se observa la variación del módulo de elasticidad versus el esfuerzo normal aplicado, para cada una de las velocidades evaluadas, en la cual se observa que para la velocidad de 0,5 mm/ min, el incremento en el módulo de elasticidad es directamente

proporcional al incremento del esfuerzo normal aplicado, lo cual sigue la teoría de elasticidad de los materiales, cuando se hace el análisis para las velocidades de 1 y 2 mm/min, se observa que no hay variaciones significativas entre ellas, pero si hay una incremento en el módulo cuando se hace la evaluación entre 0,5 mm/min y 1 ó 2 mm/min, con una variación cercana al 90 % a un esfuerzo de 21,4 kPa y disminuye con el incremento del esfuerzo y de la velocidad hasta llegar a un valor cercano al 65 % cuando alcanza el máximo esfuerzo aplicado en este ensayo que fue de 83,4 kPa (**Buildes, 2014, pp. 7**)



*FIGURA N° 2:* Curvas de tensión-deformación por compresión dinámica para la arenisca en tres diferentes velocidades de carga aplicadas.

Fuente: Fakhimi, Azhdaria & Kimberley, 2018, pp. 5

La **FIGURA N° 2:** ilustra las curvas de tensión-tensión para los tres conjuntos de pruebas dinámicas. De esta figura, queda claro que las curvas de tensión-deformación no son idénticas para los tres conjuntos de pruebas. En particular, las tensiones máximas muestran algunas diferencias. Parte de las diferencias observadas se debe a la diferente tasa de deformación aplicada que se analiza más adelante, pero se cree que la mayoría es natural debido a la diferencia entre las propiedades elásticas y de resistencia de los especímenes analizados (**Fakhimi, Azhdaria & Kimberley, 2018, pp. 3**)

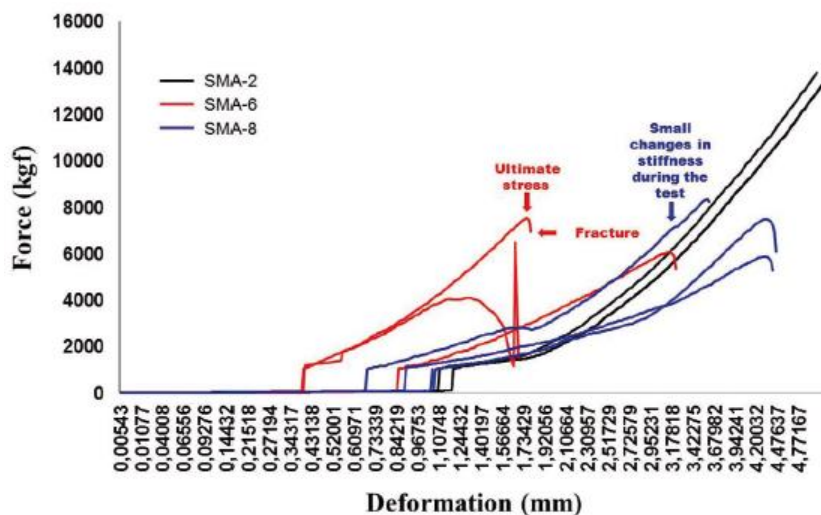


FIGURA N° 3: Curvas de fuerza-deformación obtenidas en las pruebas de resistencia a la flexión de los agregados.

Fuente: Figueroa, Mendoza, Ríos & Castellanos, 2014, pp. 14

La FIGURA N° 3 resume los datos de resistencia frente a deformación, mostrando el comportamiento geomecánico de muestras de roca (12 cm x 5 cm x 5 cm) bajo la prueba de flexión de tres puntos. En general, las curvas de fuerza-deformación para los agregados no mostraron un comportamiento homogéneo en la misma condición, y mostraron algunos puntos de fractura entre la compresión inicial y la deformación a la fuerza máxima. La muestra de SMA-2 requirió más fuerza para romperse que la obtenida para las muestras de SMA-6 y SMA-8. La carga de falla fue la carga máxima registrada antes de la falla. Es satisfactorio para la muestra SMA-2 (16.53 MPa) ya que los datos revelaron que esta muestra excede el valor de 10.05 MPa requerido para los pisos. Las muestras de SMA-6 y SMA-8 mostraron valores de 7.52 y 8.74 MPa, respectivamente, que están por debajo de este límite. Sin embargo, los valores obtenidos en este estudio son más bajos que los obtenidos por Lozano y Romero [31] para el Pescadero Granite (32.2 MPa) con tabletas de roca de 25 cm x 2.18 cm x 1.746 cm. Las especificaciones de la norma ASTM-C78 / C78M-10 establecen que el módulo de ruptura mínimo requerido para el granito que se utiliza para la construcción

es de 10.24 MPa, utilizando muestras de 30 cm x 7 cm x 7 cm (Figueroa, Mendoza, Ríos, & Castellanos, 2014)

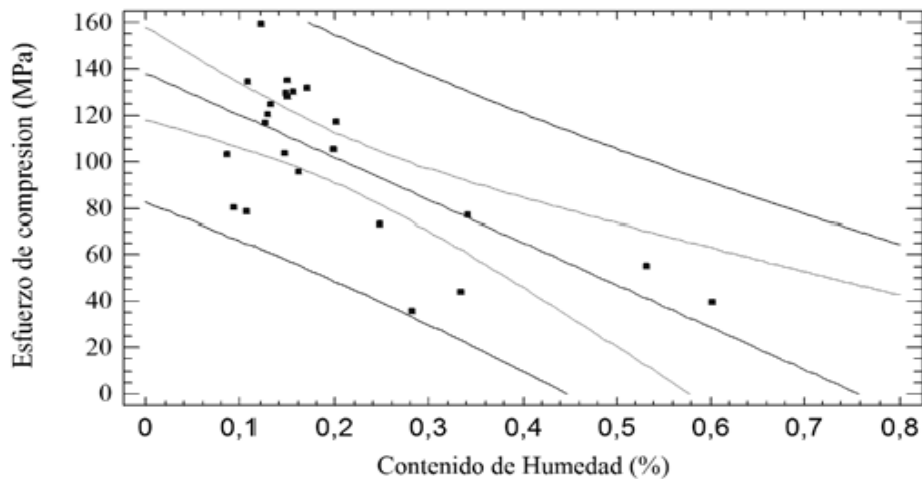


FIGURA N° 4: Variación de la resistencia a compresión uniaxial según el contenido de humedad.

Fuente: Galván & Restrepo, 2016, pp. 4)

La FIGURA N°4 permite visualizar la relación ente el contenido de humedad y la RCU de los datos presentados en la Tabla 3. Se observa en la Fig. 2, la dispersión de los datos, y se observa un índice de coeficiente de determinación cerca al 50% (Galván & Restrepo, 2016, pp. 4)

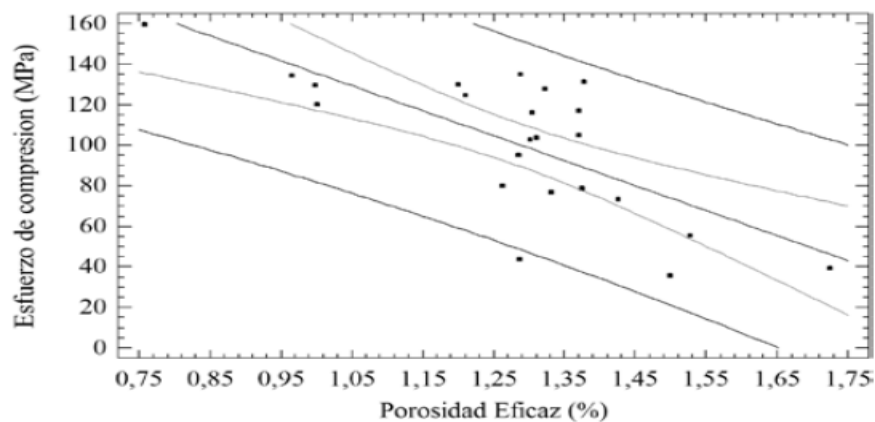


FIGURA N° 5: Variación de la resistencia a compresión uniaxial según la porosidad interconectada

Fuente: Galván & Restrepo, 2016, pp. 4)

TABLA 2:

*Propiedades índices y esfuerzo último de los núcleos de roca*

1	M3-3	0.53%	1.53%	564.0	55.3	2.89	12.0
2	M4-1	0.60%	1.72%	401.9	39.4	2.96	16.5
3	M4-2	0.34%	1.33%	785.1	77.0	2.96	15.0
4	M5-1	0.33%	1.29%	446.0	43.7	2.93	8.0
5	M5-5	0.28%	1.50%	366.4	35.9	2.93	13.9
6	M5-6	0.25%	1.43%	747.1	73.2	2.93	22.8
7	M7-1	0.15%	1.00%	1321.5	129.6	2.92	35.4
8	M7-2	0.12%	0.76%	1628.0	159.6	2.92	36.9
9	M7-3	0.20%	1.37%	1191.9	116.9	2.92	32.8
10	M8-1	0.20%	1.37%	1072.3	105.1	2.89	26.0
11	M8-2	0.15%	1.20%	1326.8	130.1	2.89	24.7
12	M8-3	0.16%	1.28%	972.3	95.3	2.89	31.5
13	M8-4	0.17%	1.38%	1342.8	131.6	2.89	25.2
14	M8-5	0.13%	1.00%	1225.6	120.2	2.89	25.5
15	M8-6	0.11%	0.97%	1373.8	134.7	2.89	34.2
16	M8-7	0.15%	1.32%	1305.2	128.0	2.89	27.1
17	M8-8	0.12%	1.30%	1187.5	116.4	2.89	28.5
18	M8-9	0.11%	1.38%	800.3	78.5	2.89	18.4
19	M8-10	0.08%	1.02%	764	74.9	2.89	23.8
20	M9-1	0.13%	1.21%	1273.3	124.8	2.9	28.1
21	M9-2	0.15%	1.29%	1378.8	135.2	2.9	25.0
22	M9-3	0.15%	1.31%	1057.8	103.7	2.9	29.0
23	M10-1	0.09%	1.30%	1049.5	102.9	2.94	26.4
24	M10-2	0.09%	1.26%	816.8	80.1	2.94	44.6
Valores máximos		0.60%	1.72%	1628.0	159.6	3.0	44.6
Valores mínimos		0.08%	0.76%	366.4	35.9	2.9	8.0
Media aritmética		0.20%	1.27%	1016.6	99.7	2.9	25.5
Desviación típica ( $\sigma$ )		0.131%	0.206 %	341.36	33.19	0.024	8.51
Varianza ( $S^2$ )		1.715 E-06	4.07 E-06	116525.67	1120.01	0.0004255	69.42

Fuente: Galván & Restrepo, 2016, pp. 4)

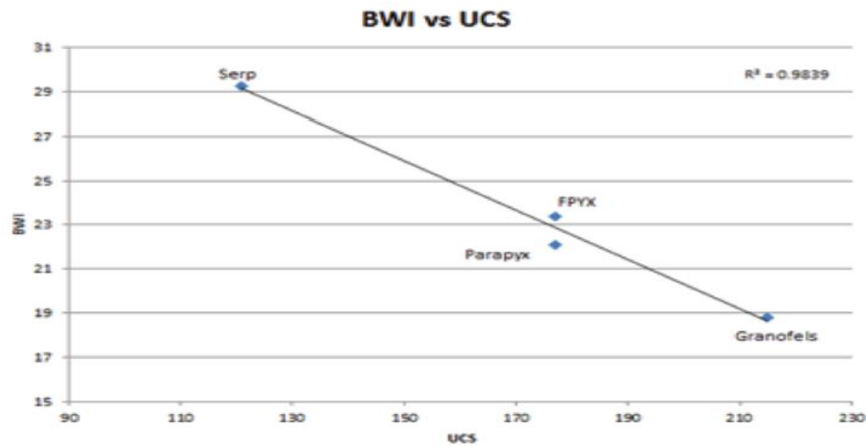


FIGURA N° 6: BWi medio trazado contra UCS para los principales tipos de roca

Fuente: Germiquet y Minnitt, 2016, pp.6

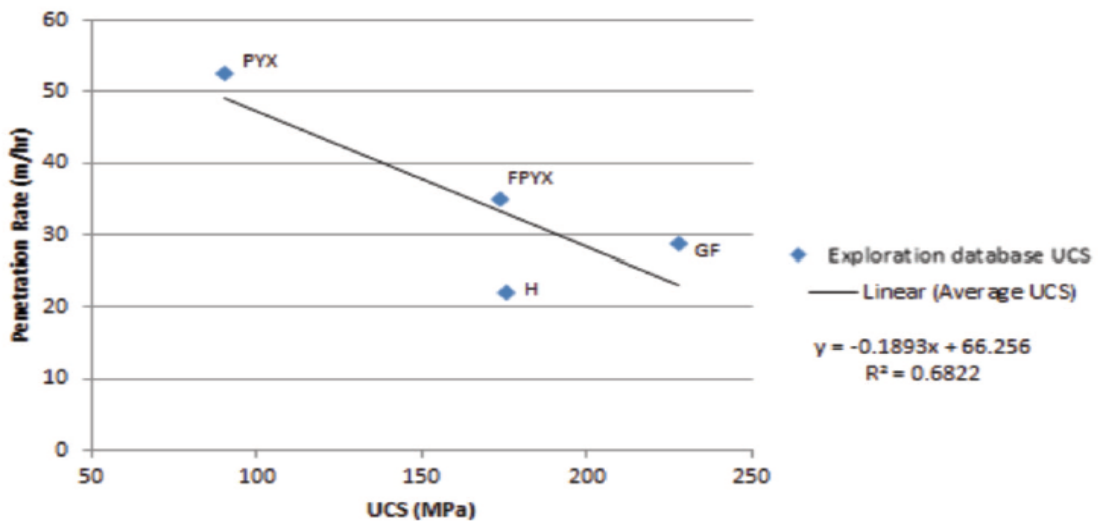


FIGURA N° 7: La tasa de penetración en comparación con UCS para cuatro tipos de roca.

La nomenclatura de la roca es la siguiente: piroxeno (PYX), piroxeno feldespático (PYX), granofels (GF) y norita híbrida (H)

Fuente: Germiquet y Minnitt, 2016, pp.6

De acuerdo a las FIGURAS N° 6 – 7 los datos cualitativos se pueden usar para identificar las diferentes unidades estratigráficas y los cambios localizados en el arrecife, que pueden no conocerse antes de la perforación de producción. Esta información de resistencia de la roca se puede calibrar y usar para actualizar un modelo UCS para patrones antes de la voladura (Germiquet & Minnitt, 2016, pp.6)

TABLA 3:

*Índice de dureza de indentación (IHI), resistencia a la compresión uniaxial (UCS), valores de resistencia a la tracción de Brasil (BTS) y algunos parámetros estadísticos*

Rock code	Indentation hardness index			Uniaxial compressive strength			Brazilian tensile strength		
	IHI (kN/mm)	Standard deviation	Coeff. of var. (%)	UCS (MPa)	Standard deviation	Coeff. of var. (%)	BTS (MPa)	Standard deviation	Coeff. of var. (%)
1	186.5 (3)*	8.6	4.6	202.9 (6)	10.1	5.0	17.0 (5)	2.30	13.5
2	42.6 (4)	1.7	4.0	77.5 (7)	6.7	8.8	9.0 (6)	0.43	4.8
3	49.2 (5)	7.4	15.1	78.2 (8)	9.3	11.9	8.5 (7)	0.49	5.8
4	27.2 (3)	0.2	0.7	50.2 (5)	5.4	10.8	6.9 (5)	1.06	15.4
5	85.0 (3)	1.8	2.1	109.2 (6)	4.5	4.1	12.1 (7)	1.60	13.2
6	144.8 (3)	5.2	3.6	115.4 (5)	8.2	7.1	10.6 (5)	1.99	18.8
7	119.4 (4)	2.5	2.1	133.2 (8)	5.2	3.9	11.4 (7)	1.75	15.4
8	123.1 (5)	7.4	6.0	114.5 (6)	3.6	3.1	9.0 (5)	0.62	6.9
9	99.1 (5)	1.5	1.5	84.9 (7)	4.7	5.5	8.0 (6)	0.45	5.6
10	51.8 (6)	2.2	4.2	89.6 (6)	5.7	6.4	6.6 (8)	0.76	11.5
11	142.9 (5)	16.3	11.4	120.3 (6)	6.3	5.2	14.8 (5)	1.10	7.4
12	94.8 (4)	15.9	16.8	90.0 (4)	7.2	8.0	7.6 (6)	1.02	13.4
13	98.3 (3)	12.3	12.5	120.0 (5)	7.7	6.4	12.6 (5)	1.31	10.4
14	108.5 (4)	5.7	5.3	121.8 (6)	3.9	3.2	11.6 (7)	0.76	6.6
15	97.6 (3)	3.7	3.8	111.5 (7)	9.5	8.5	13.9 (6)	1.38	9.9
16	45.5 (3)	1.9	4.2	69.8 (8)	8.0	11.5	9.9 (7)	0.70	7.1
17	56.3 (3)	2.1	3.7	90.5 (8)	4.3	4.8	5.7 (7)	0.52	9.1
18	41.7 (3)	2.1	5.0	73.4 (6)	5.6	7.6	10.2 (5)	0.60	5.9
19	36.7 (3)	2.6	7.1	68.5 (7)	0.8	1.2	8.4 (6)	0.37	4.4
20	22.5 (3)	3.6	16.0	35.2 (6)	3.6	10.2	5.7 (5)	0.31	5.4
21	25.0 (3)	2.1	8.4	55.3 (5)	5.9	10.7	6.1 (6)	0.94	15.4
22	16.7 (4)	1.8	10.8	28.9 (7)	3.6	12.5	5.8 (6)	0.90	15.5
23	20.0 (3)	0.5	2.5	31.9 (6)	0.7	2.2	4.9 (5)	0.61	12.4
24	20.4 (3)	1.0	4.9	24.1 (5)	2.8	11.6	6.7 (5)	0.60	9.0
25	112.9 (3)	6.6	5.8	186.5 (7)	13.4	7.2	16.6 (8)	1.60	9.6
26	55.3 (4)	4.3	7.8	85.9 (8)	9.9	11.5	14.3 (8)	1.00	7.0
27	45.5 (3)	2.9	6.4	70.9 (6)	6.6	9.3	9.4 (5)	0.65	6.9
28	133.3 (3)	4.9	3.7	203.6 (5)	15.1	7.4	17.2 (7)	0.60	3.5
29	116.0 (3)	4.4	3.8	210.6 (6)	9.2	4.4	18.1 (5)	1.00	5.5
30	97.4 (4)	12.2	12.5	120.3 (7)	5.8	4.8	10.6 (5)	0.74	7.0
31	107.3 (3)	6.7	6.2	168.6 (5)	6.7	4.0	15.7 (5)	0.31	2.0
32	29.1 (3)	0.3	1.0	48.8 (6)	3.9	8.0	5.2 (8)	0.66	13.1
33	100.0 (3)	12.7	12.7	126.8 (8)	16.3	12.7	6.2 (7)	0.51	8.2
34	94.0 (3)	8.5	6.7	134.2 (6)	8.9	6.6	6.0 (8)	0.54	9.0
35	104.3 (4)	5.1	4.9	136.7 (8)	4.8	3.5	10.2 (8)	1.21	11.9
36	74.2 (5)	6.3	8.5	79.5 (7)	4.2	5.3	5.5 (7)	0.50	9.1
37	118.6 (4)	3.5	3.0	175.0 (6)	13.5	7.7	7.4 (7)	0.63	8.5
38	54.6 (4)	3.2	5.9	87.8 (8)	9.6	10.9	5.5 (6)	0.65	15.5
39	65.5 (4)	2.3	3.5	83.3 (7)	6.0	7.2	5.8 (8)	0.55	9.5
40	24.9 (3)	2.0	8.0	80.0 (5)	3.9	4.9	4.3 (6)	0.32	7.4
41	21.5 (3)	2.4	11.2	50.3 (6)	5.2	10.3	2.8 (6)	0.23	8.2
42	37.8 (3)	3.2	8.5	57.6 (5)	5.7	9.9	4.8 (7)	0.53	11.0
43	52.4 (4)	1.6	3.1	112.3 (7)	3.6	3.2	4.0 (5)	0.34	6.5
44	25.3 (4)	0.6	2.5	45.4 (8)	6.3	13.9	4.6 (8)	0.41	8.9
45	3.7 (5)	0.2	4.6	30.4 (8)	3.1	10.2	2.2 (7)	0.20	9.1
46	15.4 (4)	1.3	8.4	50.3 (7)	6.1	12.1	4.1 (7)	0.44	10.7

Fuente: Kahraman, Fener y Kozman, 2012, pp.4



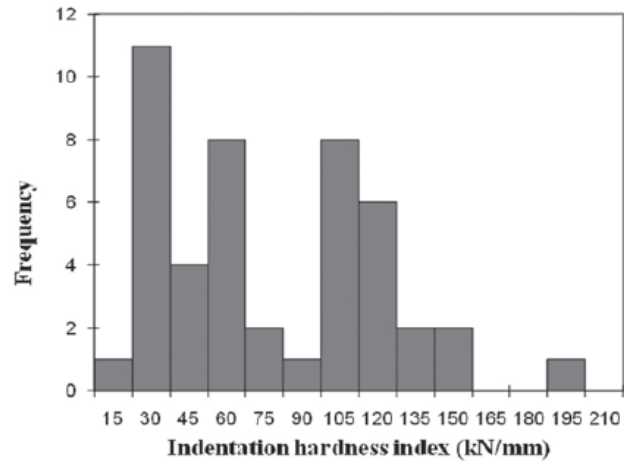


FIGURA N° 8: Histograma de valores de IHI

Fuente: Kahraman, Fener y Kozman, 2012, pp.5

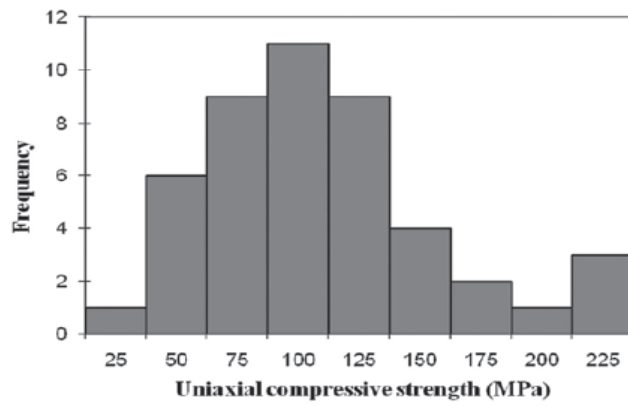


FIGURA N° 9: Histograma de valores UCS

Fuente: Kahraman, Fener y Kozman, 2012, pp.5

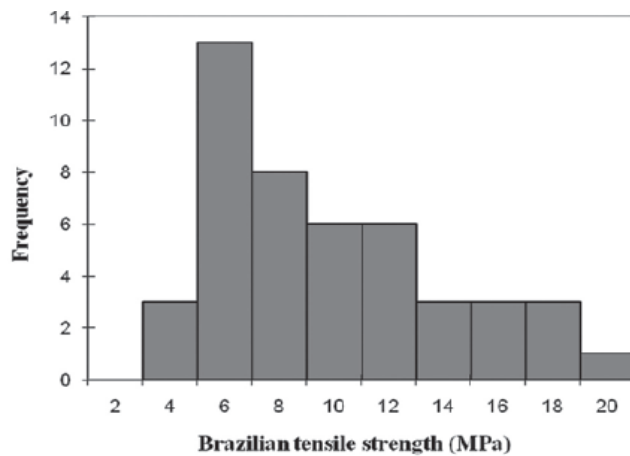
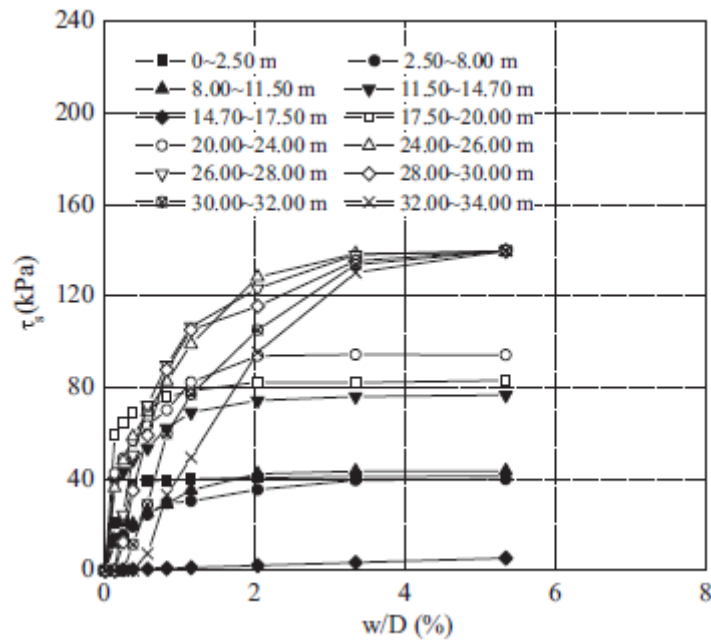


FIGURA N° 10: Histograma de valores BTS

Fuente: Kahraman, Fener y Kozman, 2012, pp.5

Las **FIGURAS N° 8 - 10** muestran los histogramas de los valores de IHI, UCS y BTS. Los valores de IHI van desde 3.7 kN / mm para el travertino Mut / Icel hasta 186.5 kN / mm para el basalto Altinhisar / Nigde. Los valores de UCS van desde 24.1 MPa para el mármol Kemalpaşa / Bursa hasta 210.6 MPa para el Kilavuzkoy / Nigde serpentinita. Los valores de BTS van desde 2.2 MPa para el travertino Mut / Icel hasta 18.1 MPa para la serpentinita Kilavuzkoy / Nigde (**Kahraman, Fener y Kozman, 2012, pp.4**)



**FIGURA N° 11:** Movilización de la resistencia del eje local en pilotes de prueba.

Fuente: Kalantarib, Hashemolhosseinia & Baghbananb, 2018, pp.5

La resistencia del eje local ( $\tau_s$ ) se puede inferir a partir de la distribución de la carga en la pila medida por los aumentos de tensión asumiendo que la carga se distribuye de manera uniforme a lo largo de los pilotes entre las ubicaciones del medidor de deformación. contra el asentamiento normalizado de la cabeza del pilote,  $w / D$  (%) en la **FIGURA N° 11**. Los datos muestran que la resistencia del eje aumenta con el desplazamiento de la cabeza del pilote a lo largo de la prueba y, para profundidades más profundas, no alcanzó el valor final de la prueba de carga. Mientras la tensión de corte movilizó la capa de suelo dinany dependió naturalmente del desplazamiento de la cabeza de pilote durante la prueba, y se midieron los valores de resistencia a la cizalladura de hasta 140kPa en la piedra fangosa CD, capa de luvio de 75–95 kPaint, y El depósito de 40 kPa de mar se sentó al final de las pruebas de carga.

Los valores en CD mudstone fueron 1.5 a 3.5 veces más altos que en los depósitos finos y en la capa de vinilo (Kalantari, Hashemolhosseini, & Baghbanan, 2018, pp. 5)

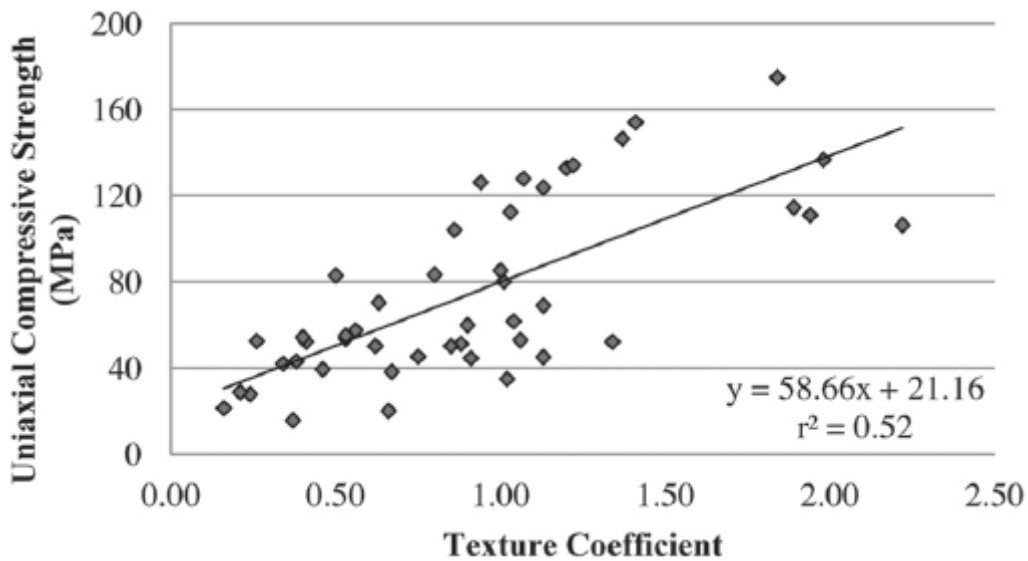


FIGURA N° 12: Correlación entre  $\sigma_c$  y TC

Fuente: Ozturk, Nasuf y Kahraman, 2004, pp.6

La FIGURA N°12 muestra Las relaciones entre la resistencia de la roca y la textura de la roca cuantificada se obtienen mediante regresión basada en la construcción de un diagrama de dispersión y el ajuste de una línea de tendencia. El valor del coeficiente de correlación ( $r^2$ ) se utilizó para determinar la validez de la línea de tendencia. Las investigaciones para los modelos de predicción se llevaron a cabo en base a la litología de los materiales y las características geométricas de los constituyentes de la textura. Investigación basada en la litología En primer lugar, se realizó una estimación y se obtuvo una línea de tendencia como se muestra en la Figura 6, sin clasificar los datos. Sin embargo, los resultados no indican ninguna correlación significativa debido al bajo valor del coeficiente de correlación ( $r^2 = 0.52$ ). Se puede ver que un valor creciente de TC indica un aumento de la resistencia a la compresión (Ozturk, Nasuf y Kahraman, 2004, pp.6)

## CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

### Discusión

Con lo presentado anteriormente la resistencia del macizo rocoso se ve afectado por las diferentes propiedades físicas, químicas, mecánicas; a la vez de los factores ambientales, geológicos los cuales hacen que el macizo rocoso tenga un comportamiento favorable o desfavorables, de buena calidad y de mala calidad respectivamente. En tal sentido, **Fakhimi, Azhdaria & Kimberleyc (2018)** sostienen que la caracterización de macizos rocosos se ven afectado por la variabilidad espacial principalmente de sus propiedades y condiciones que involucran afloramientos, fracturamiento, tectónica y meteorización los cuales producen una complejidad al momento de caracterizar. Por otro lado, se debe abarcar parámetros y aspectos que son pragmáticos, observados, inferidos y medidos en los afloramientos, en el cual en primer lugar se tiene que identificar el material que lo compone a la masa rocosa, posterior a ello se debe clasificar en función a su petrografía los cuales establecen criterios en función de su composición, mineralogía y génesis

Al aplicar esfuerzos en los ensayos de laboratorio sobre las muestras de roca de analiza la resistencia de roca, la cual va desde baja hasta alta de acuerdo a escalas de clasificación geomecánica; asimismo ayuda a definir la dirección de fracturamiento de la muestra, lo cual ayudará a inducir tal comportamiento en la zona in situ.

### Conclusiones

La finalidad de caracterizar la resistencia del macizo rocoso es sumamente fundamental para determinar la calidad de roca que alberga y hospeda mineral en un proyecto minero. Además en actos posteriores definen la viabilidad de proyectos de inversión privada, para poder determinar su estabilidad de roca del cual depende la construcción de diversas estructuras mineras, civiles y viales.

La resistencia de roca se ve afectada por sus propiedades físicas, químicas, mecánicas y geológicas. Principalmente por la porosidad, del cual depende la concentración de humedad que afecta la estructura de roca, al igual que la textura.

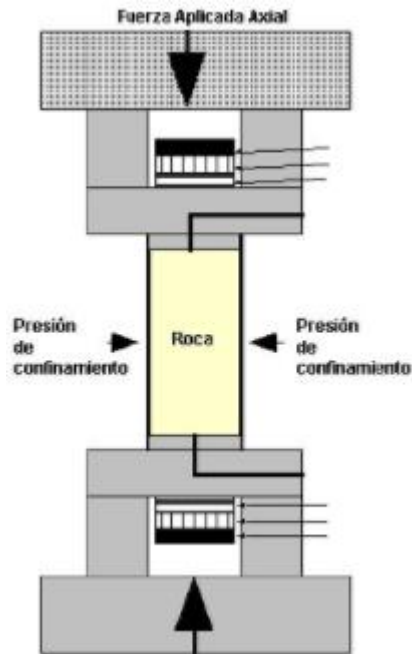
## REFERENCIAS

- Germiquett, J., & Minnitt, R. (2016). Rock Strength and Geometallurgical. *The journal of the African Institute of Mining and Metallurgy*, 1 - 4. doi:<http://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/2016/v116n3a5>
- Buildes, M. (2014). Incidencia de la Velocidad De Aplicación de Carga en la Resistencia al Corte no Drenado de Suelos Residuales de Anfibolita en el Valle de San Nicolás, Antioquia (Colombia). *EIA*, 1 - 9. Recuperado el 29 de Setiembre de 2018, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5429769>
- Fakhimi, A., Azhdaria, P., & Kimberley, J. (2018). Physical and numerical evaluation of rock strength in Split Hopkinson. *Computers and Geotechnics*, 1 - 11. Recuperado el 18 de Setiembre de 2018, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266352X18301368>
- Figuroa, P., Mendoza, P., Ríos, A., & Castellanos, M. (2014). Characterization and testing of rock aggregates. *Escuela de Geología. Universidad Industrial de Santander*, 1 - 18. Recuperado el 29 de Setiembre de 2018, de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/4592>
- Galván, M., & Restrepo, I. (2016). Resistance correlation with compression uniaxial effective humidity and porous rocks. *Dyna*, 1 - 7. Recuperado el 30 de Setiembre de 2018, de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0012-73532016000400001](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0012-73532016000400001)
- Kahraman, S., Fener, M., & Kozman, E. (2012). Predicting the compressive and tensile strength of rocks from indentation hardness index. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 1 - 9. Recuperado el 18 de 09 de 2018, de [http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2225-62532012000500003](http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-62532012000500003)
- Kalantari, S., Hashemolhosseini, H., & Baghbanan, A. (2018). Estimating rock strength parameters using drilling data. *International Journal of*, 1 - 8. Recuperado el 30 de Setiembre de 2018, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1365160917300229>
- Naeimipour, A., Rostami, J., Buyuksagis, I., & Frough, O. (Julio de 2018). Estimation of rock strength using scratch test by a miniature disc cutter on. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 9 - 18. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2018.03.020>

- Ozturk, C., Nasuf, E., & Kahraman, S. (2014). Estimation of rock strength from quantitative. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 1 -10. Recuperado el 18 de Setiembre de 2018, de [http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2225-62532014000600013](http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-62532014000600013)
- Santos, T., Milene , S., & Allan , E. (2017). Applicability of geomechanical classifications for estimation of strength properties in Brazilian rock masses. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 1 - 14. Recuperado el 17 de Setiembre de 2018, de [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0001-37652017000300859&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0001-37652017000300859&script=sci_abstract)
- Zhou, X., Lian, Y., Wong, L., & Berto, F. (2018). Understanding the fracture behavior of brittle and ductile multi-flawed rocks by. *Engineering Fracture Mechanics*, 1 - 54. Recuperado el 17 de Setiembre de 2018

ANEXO 1:

*Ensayo de compresión uniaxial*



Fuente: Rivas, 2011

ANEXO 2

*Sistema para Pruebas triaxiales*



Fuente: UTEST (2010)



### ANEXO 3

#### Ensayos de carga puntual



Fuente: Tecnovias (2015)