



## Medición de la dureza relativa del macizo rocoso utilizando el Televiewer Acústico

Juan Tito Mendoza Aranda<sup>(1)</sup>, David Abarca Alfaro<sup>(1)</sup>, Rosa Juarez Flores<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Borettek SAC. Calle Francia 173, Urb Los Portales de Javier Prado, Ate, Lima, Perú

### RESÚMEN

La dureza de la roca es medida durante el logueo geotécnico utilizando el martillo y una escala cualitativa y subjetiva, siendo R0 la más suave y R6 la más dura. La herramienta Televiewer Acústico registra la dureza de la pared del pozo midiendo la amplitud del pulso de ultrasonido a una alta resolución. Rocas duras reflejan señales de amplitud alta y rocas suaves/fracturadas reflejan señales bajas. La medición es hecha continuamente por medio de un transductor que emite y recibe el eco de retorno que da un valor cuantitativo de la dureza de la roca.

Palabras clave: dureza de la roca, amplitud, eco, cociente de amplitudes.

### ABSTRACT

Rock hardness measurement for geotechnical logging is made by using the hammer and utilizing a qualitative and subjective scale, being R0 the softest to R6 the hardest. The Acoustic Televiewer logs the borehole wall in terms of hardness, measuring the amplitude of a high frequency reflected ultrasound pulse at very high resolution. Hard rocks reflect high amplitude signals and soft/fractured rocks reflect low ones. The measurements are made continuously by a rotating transducer that emits and receive a returned echo that gives a quantitative value to rock hardness.

Key word: rock hardness, amplitude, echo, amplitude quotient.

### INTRODUCCIÓN

Vivimos en un mundo rodeado de ondas y de fenómenos físicos relacionados con el sonido

cuyo movimiento es oscilatorio y armónico, del cual solo una pequeña parte es percibida por el oído humano, el resto es captado por herramientas como el Televiewer Acústico (ATV). La herramienta ATV utilizando como fuente el ultrasonido observa, tipifica y orienta los rasgos litológicos y estructurales del macizo rocoso. Es tal la frecuencia del ATV, 1.2 MHz (1'200,000 vibraciones por segundo), que hace "vibrar" la roca y el eco que produce se manifiesta en imágenes acústicas de la pared del pozo, una de amplitud y otra del tiempo de tránsito (Fig. 1).

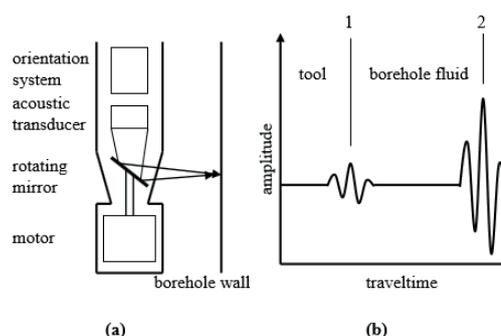


Fig.1. (a) La parte cónica es la ventana acústica. (b) El tren de ondas recibido por el transductor, la abscisa es el tiempo de tránsito, y la ordenada, la amplitud, (1) es la reflexión de la ventana acústica (2) es la reflexión de la pared del pozo.

El ATV mide una de las propiedades requeridas por el sistema de clasificación geomecánica RMR del macizo rocoso que es la dureza, que corresponde al parámetro UCS (Bieniawski, 1989), el que a su vez es la resistencia

a la compresión uniaxial de la roca. Tradicionalmente se mide esta propiedad utilizando el martillo geológico. El método establece el grado de acuerdo a un tabla de dureza desde una roca muy frágil (categoría R0), a una roca muy dura (categoría R6), siendo este método subjetivo y cualitativo. El presente es un avance en la medición de la dureza de la roca producido por los pulsos de la onda acústica enviadas a través del transductor del ATV. La onda ultrasónica atraviesa el medio fluido, llega a la pared del pozo, y el eco es captado nuevamente por el transductor. La medición por ser automática, cuantitativa y objetiva, complementa a la descripción del logueo geotécnico, dando el valor agregado que justifica el costo del registro.

### ESTADO DE LA INVESTIGACIÓN.

La medición de la dureza se realiza por la interpretación de la impedancia acústica ( $IA = v \rho$ ), donde  $v$  es la velocidad de la onda, y  $\rho$  es la densidad de la roca. Schepers (1996) sostuvo que la impedancia tiene una relación directa, no-linear, con la amplitud de las señales acústicas reflejadas, así rocas con impedancia baja tienen amplitud también baja. Los valores producidos por el ultrasonido están directamente relacionados al rango de resistencia o "golpe" de la onda acústica, obteniéndose un Índice de Calidad de Resistencia (QSI) (Dempers, 2010), equivalente a la dureza de la roca (Farrin de

Fredrick, et al, 2014, (Fig. 2). Rosen, et al, (2016) realizó modelos de laboratorio.

### LA AMPLITUD DEL TELEVIEWER ACÚSTICO

La amplitud es un atributo o propiedad de las ondas. En movimiento armónico simple, la amplitud ( $A$ ) es el máximo desplazamiento de una partícula desde el origen, según la fórmula:  $A = x / \cos(\omega t + \alpha)$ , donde  $x$  es el desplazamiento relacionado con el origen, y  $(\omega t + \alpha)$  es la fase de la oscilación, siendo  $\alpha$  la fase inicial (Alonso and Finn, 1980). Se entiende por fase a la cantidad de rotaciones en el movimiento circular. Los parámetros  $\omega$  y  $t$  son la frecuencia angular y el tiempo, respectivamente.

### MEDIDA DE LA DUREZA: EL COCIENTE DE LA AMPLITUD DEL ECO EMITIDO CON EL ECO DE RETORNO

El eco es la repetición del sonido causado por su reflexión. La información de los ecos de la ventana acústica predice los ecos de los ruidos y detecta el eco de la pared del pozo. La amplitud del eco es captada en la señal de retorno. Como la amplitud está directamente relacionada a la impedancia, el cociente de la **amplitud emitida con respecto a la amplitud de retorno cuantifica el valor de la impedancia del eco de retorno lo que constituye la dureza relativa.**

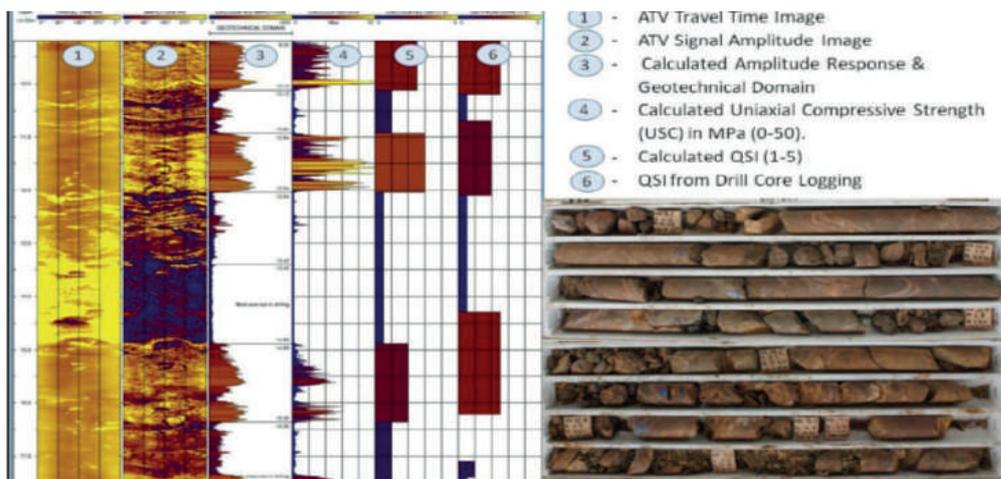


Fig. 2. El intervalo registrado es el mismo que el testigo abajo a la derecha. Columna 2: imagen de amplitud del ATV, roca dura color amarillo y roca suave/fracturada, color gris a negro. Las columnas 5 y 6 son índices de dureza calculado por el ATV y por el Logueo geotécnico, respectivamente. La Columna 4 es la curva de Compresión Uniaxial UCS, y coincide con el índice de dureza del ATV. Esto da los dominios geotécnicos (Columna 3).

### EJEMPLO DE CAMPO

Para probar la confiabilidad de la dureza relativa del registro ATV se ha comparado un ejemplo real de un pozo registrado en Cuzco por Boretek en el 2017. La roca es andesita y el gráfico de la dureza relativa contra la profundidad tiene escala adimensional de 0-8000. Los intervalos de roca más dura poseen valores de dureza relativa más alta.

La disminución de la dureza en la parte superior y un ligero aumento en la parte inferior es captada por ambos métodos. En pequeños sub-intervalos como 237-237.5 m, el logueo geotécnico no capta la variación, en cambio el ATV si lo cuantifica y la imagen confirma que es una zona fracturada.

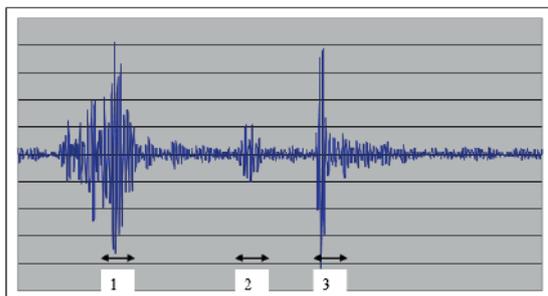
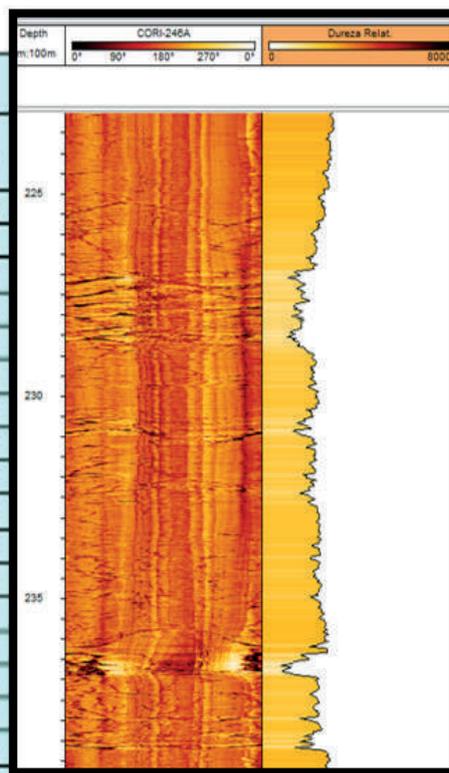


Fig. 3. Data acústica: (1) reflexión de la ventana acústica, (2) reflexión múltiple de la ventana acústica, (3) eco deseado del pozo, el mismo que va a ser relacionado con la dureza (Deltombe and Schepers, >2001).

Nº	DE (m)	A (m)	LONGITUD DE AVANCE (m)	LITOLÓGIA	DUREZA	
					GRADO	R
133	218.60	218.15	1.55	51.00	R3	4
134	218.16	219.70	1.55	51.00	R3	4
135	219.70	221.05	1.35	51.00	R3	4
136	221.06	222.65	1.60	51.00	R3	4
137	222.66	223.65	1.00	51.00	R3	4
138	223.66	225.05	1.40	51.00	R3	4
139	225.06	226.70	1.65	52.00	R3	4
140	226.70	227.90	1.20	52.00	R2	2
141	227.90	229.10	1.20	52.00	R2	2
142	229.10	230.00	0.90	52.00	R2	2
143	230.00	231.70	1.70	52.00	R2	2
144	231.70	232.45	0.75	52.00	R3	4
145	232.46	234.20	1.75	56.00	R3	4
146	234.20	235.75	1.55	56.00	R3	4
147	235.76	236.65	0.90	56.00	R3	4
148	236.66	238.35	1.70	56.00	R3	4
149	238.36	239.15	0.80	56.00	R3	4
150	239.16	239.95	0.80	56.00	R3	4



### CONCLUSIONES.

El paralelismo entre la reflectancia producida por la dureza relativa de la roca del registro ATV con la escala de dureza del logueo geotécnico desde R0 hasta R6, existe. Los valores altos de dureza relativa del ATV corresponden a las rocas más duras y los valores bajos del mismo corresponden a las rocas

menos duras o fracturadas. La amplitud es un atributo de onda que mide el desplazamiento máximo. La amplitud del eco es captada en la señal de retorno y el cociente de la amplitud emitida con la amplitud de retorno es la dureza relativa de la roca.

## REFERENCIAS

ALONSO, M., E.J. FINN, 1980, Fundamental University Physics, 2<sup>nd</sup> Ed., Addison-Wesley Publishing Company, Inc.

BIENIAWSKI, Z.T., 1989, Engineering Rock Mass Classification, 251, John Wiley & Sons, New York.

DELTOMBE, J-L, R. SCHEPERS, (>2001), New developments in real time processing of full waveform acoustic televiewer data.

DEMPERS G D, C.R.W. SEYMOUR AND M.B. HARRIS, 2010, Optimizing geotechnical logging to accurately represent the geotechnical environment. Second Ground Control in Mining Conference.

FARRIN DE FREDRICK, TA NGUYEN, CLYVE SEYMOUR, GARY DEMPERS, 2014, Geotechnical data from optical an acoustic televiewer survey. En: *Acoustic Televiewer from Geotechnia*, Internet.

ROSEN, R., M. COSTELLO AND META-ROCK LABORATORY, 2016, Development of a Borehole Acoustic Reflection Attenuation Models as a Function of Elastic Parameters and Borehole Environmental Conditions. A proposal submitted to Mount Sopris Geophysical Inc.

SCHEPERS R., 1996, Application of borehole logging to geotechnical exploration, HANWHA Symposium, Seoul, Korea, October