

REQUERIMIENTO DE SOPORTE EN EXCAVACIONES DE SERVICIO EN MINERÍA SUBTERRÁNEA: INCERTIDUMBRE EN LA CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE TESTIGOS CON FINES DE EXPLORACIÓN MINERAL

Renato Macciotta¹, Graham Parkinson², Eduardo García³, Orlando Bravo³

¹University of Alberta – NREF 1-035, Edmonton, Canada

²Klohn Crippen Berger Ltd. – Virtual Way, Vancouver, Canadá

³Klohn Crippen Berger S.A. – 418 Pedro de Osa, Barranco, Lima, Perú

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de un proyecto minero depende de su factibilidad técnica, económica, política y social. Esto se ve reflejado en un desarrollo del proyecto por etapas. Ya desde etapas tempranas de diseño, el operador minero necesita diseños preliminares para poder evaluar el capital necesario y los costos de operación. En estas etapas tempranas, no es frecuente contar con exploraciones geomecánicas dirigidas al diseño de excavaciones. Es entonces que se hace necesario el hacer uso de información existente para la caracterización geomecánica de las zonas de minado. En este sentido, caracterizar la calidad de roca y sus propiedades de resistencia y deformación basados en testigos de diversa edad y obtenidos para exploraciones de mineral, esta relacionado con alta incertidumbre. Esta incertidumbre es debida a la manipulación de los testigos al momento de obtenerlos, durante el periodo en el que están almacenados, y la degradación de los materiales debido a su exposición a los agentes atmosféricos. Esta incertidumbre afecta la confiabilidad en los parámetros necesarios para el diseño del requerimiento de soporte en excavaciones subterráneas. Este tipo de incertidumbre se ilustra en la Figura 1, en donde puede verse que la incertidumbre puede reflejarse como una alta variabilidad en los parámetros o puede modificar los valores considerados como representativos (o promedio). En este trabajo se evaluó cuantitativamente el efecto de utilizar testigos antiguos versus testigos nuevos para la caracterización geomecánica y diseño de soporte de excavaciones permanentes y de servicio en un proyecto de minería subterránea.

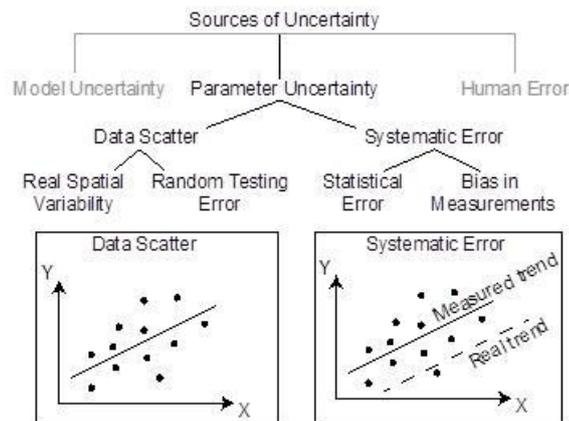


Figura 1. 3 principales fuentes de incertidumbre en diseño geomecánico (Morgenstern 1995, Baecher 1987, El-Ramly 2001) enfocada en incertidumbre de los parámetros de diseño

UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

El proyecto se encuentra ubicado en la provincia de Amazonas a 300 km de Tarapoto (Figura 2). El área se caracteriza por ser una zona de montaña y vegetación densa típica de ceja de selva. La precipitación excede los 1000 mm/año y las temperaturas llegan a superar los 30 grados.

En la zona del proyecto la litología esta caracterizada por la presencia de calizas y dolomitas de la Formación Chambará. Las zonas de extracción, así como los accesos, rampas y cavernas de servicio; se encuentran ubicados en los grupos Chambará 2 y 3, en donde Chambará 3 sobre yace al Chambará 2.

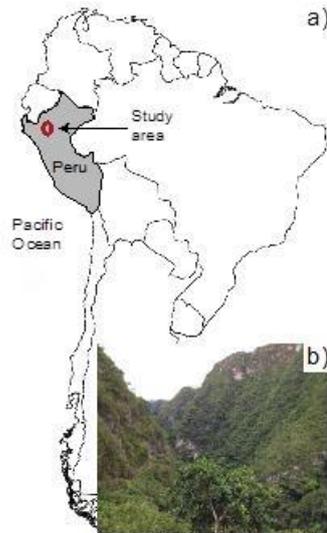


Figura 2. Ubicación del proyecto (a) y fotografía ilustrando la topografía y vegetación de la zona

Los procesos de formación de estas unidades sedimentarias y los procesos orogénicos en la zona marcan las características generales del macizo rocoso. El origen sedimentario se ve reflejado en la presencia de juntas persistentes sub-horizontales, o bedding, con diferentes espaciamentos desde decenas de centímetros a algunos metros. La Figura 3 muestra algunos afloramientos en que se puede ver la naturaleza de estas discontinuidades persistentes al estar expuestas al ambiente exterior.

Los procesos orogénicos de formación de las montañas en el área han originado fallas y sistemas de fallas en la región. Muchas de ellas, en mayor y menor escala, están asociadas a espesores variables de roca fracturada y rellenos de sedimento caracterizado por arcillas y presencia de bitumen. La Figura 3 muestra algunas zonas de falla dentro del túnel de exploración (izquierda d, e) y en testigos (derecha), así como los sedimentos encontrados en algunas de las discontinuidades del macizo. La litología y el clima de la zona también dan el contexto para la formación de cavernas cársticas como se muestra en la Figura 3 (izquierda f). Los flujos de agua en contextos cársticos como este son complejos y difíciles de predecir. El túnel de exploración es generalmente seco, pero con flujos entrando por una variedad de cavidades cársticas.

Observaciones dentro del túnel de exploración y discusiones con el personal de mina sugieren un comportamiento óptimo del macizo ante la excavación de 2.5 por 3 m de abertura. No fue necesario el utilizar soporte con la excepción de algunas zonas de falla y el soporte puntual de algún bloque. Cámaras de perforación de entre 5 y 6 metros solo requirieron de Split-sets espaciados entre 1.5 y 2 metros en el techo.

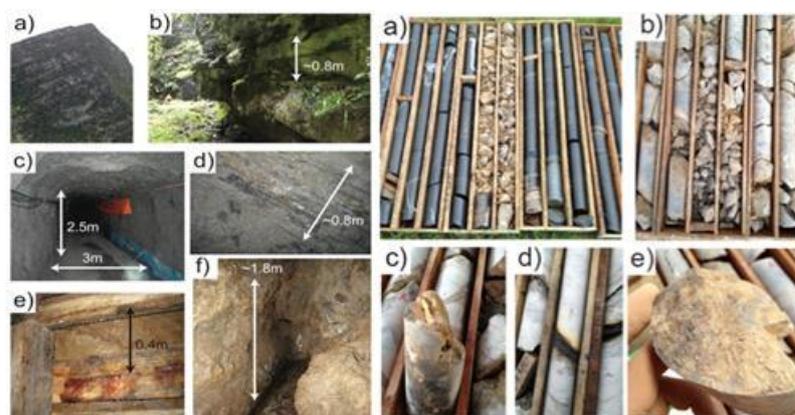


Figura 3. Observaciones dentro del túnel de exploración y afloramientos en la zona (izquierda) y en los testigos (derecha)

CALIDAD DEL MACIZO Y EVALUACION DE SU VARIACION MEDIDA EN TESTIGOS ANTIGUOS Y FRESCOS

La calidad del macizo se evaluó considerando su valor RQD (Deere et al. 1967) y su valor Q (Barton et al. 1974, Grimstad y Barton 1993, Barton 2002). El RQD se escogió debido a su uso frecuente en la industria y el valor de Q debido a su uso frecuente y que las recomendaciones para el soporte basado en este sistema están en constante actualización. Los parámetros de SFR y J_w para el cálculo de Q fueron considerados como 1 y entre 0.5 y 0.8 respectivamente, y son consistentes con observaciones dentro del túnel de exploración.

La Figura 4 muestra los histogramas de la distribución de RQD y Q en Chambará 2 y 3. Esta figura sugiere que los valores de la calidad de roca son consistentes cuando son medidos en testigos antiguos y en testigos frescos. Esto brinda confianza respecto a los parámetros obtenidos para el diseño de soporte de excavaciones obtenidos de testigos de diferente edad. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que zonas mineralizadas son usualmente extraídas de estos testigos para pruebas mineralógicas, lo cual está asociado con un nivel de incertidumbre. Investigaciones geotécnicas a realizarse en etapas posteriores del desarrollo del proyecto deben enfocarse en confirmar los resultados obtenidos y en minimizar las incertidumbres que aún existen en relación al uso de testigos de exploración minera.

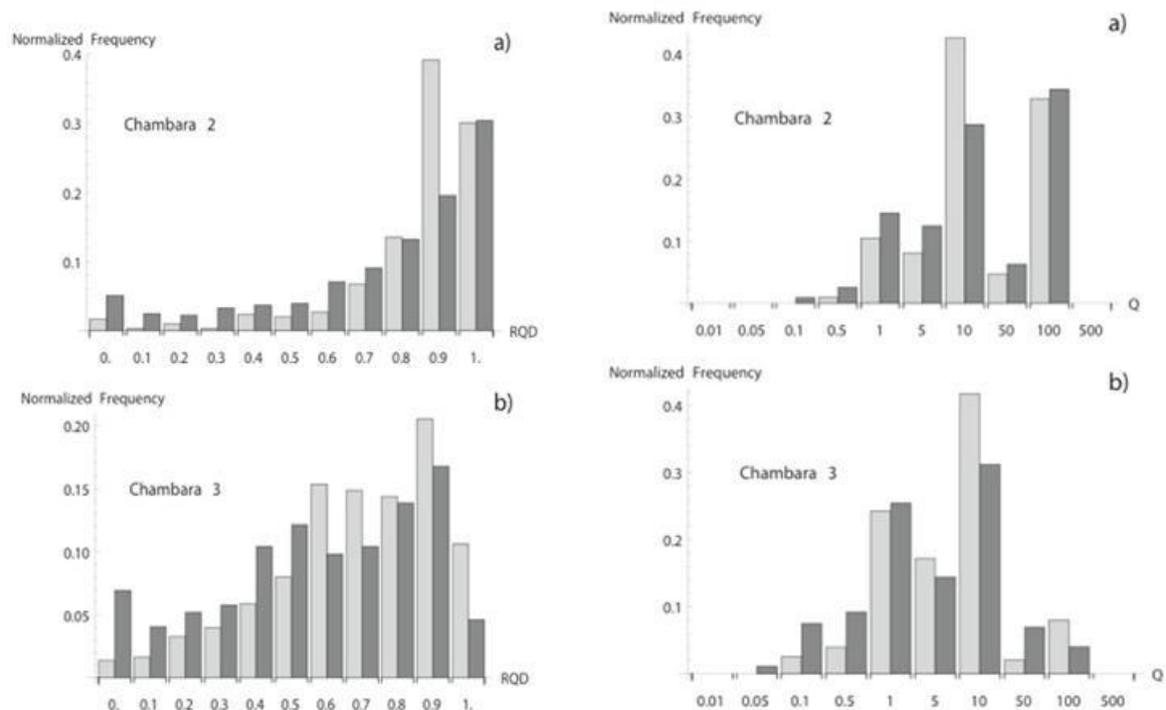


Figura 4. Histogramas de la distribución de RQD (izquierda) y Q (derecha) en Chambará 2(a) y 3(b)

Los valores de Q fueron utilizados para un diseño preliminar del soporte requerido para las excavaciones de accesos y rampas considerando una dimensión típica de 3 m, y para cavernas de servicio considerando una dimensión típica de 8 m. Este diseño sigue el método empírico basado en el sistema Q. El parámetro de ESR fue considerado como 1.6, que corresponde a estructuras permanentes dentro de un contexto de explotación minera. La Figura 5 muestra el sistema en forma gráfica así como las zonas que corresponden a las excavaciones en mención.

El diseño considera que valores de Q por debajo de 1 corresponden a zonas de falla de espesores limitados (1.5 metros como máximo). Esta suposición está basada en observaciones en testigos y dentro del túnel de exploración. Estas zonas requieren de soporte utilizando marcos y paneles para contener material suelto.

Según se presenta en la Figura 5, accesos y rampas con diámetros de 3 m no requieren de soporte sistemático. Debe mantenerse una actitud vigilante respecto al comportamiento del macizo para

valores de Q cercanos a 1. De detectarse bloques que puedan presentar inestabilidad en la corona o paredes, deberá planearse su estabilización con el uso de Split-sets o anclajes. Cavernas de servicio con dimensiones de 8 m podrán mantenerse sin requerir soporte para valores de Q sobre 10, y la utilización de anclajes con espaciamiento de 1.3 a 2 m y shotcrete de hasta 50 mm de espesor, de encontrarse en zonas de bajo Q.

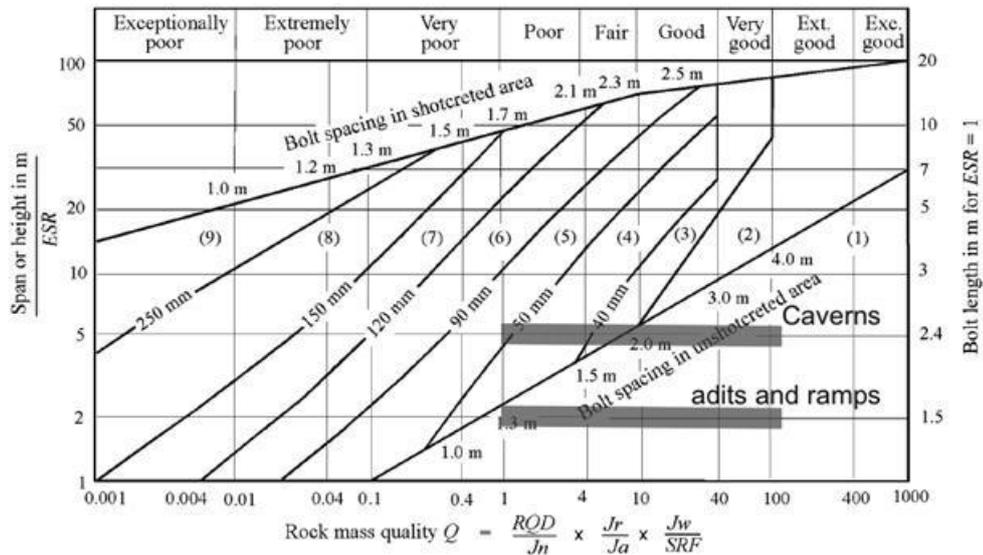


Figura 5. Diseño empírico preliminar del soporte requerido para las excavaciones de servicio

REFERENCIAS

1. Baecher, G.B. 1987. Statistical Analysis of Geotechnical Data. Final Report No. GL-87-1, USACE Waterways Experiment Station, Wicksburg, MI.
2. Barton, N., Lien, R., Lunde, J. 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics 6(4):189-236.
3. Barton, N. 2002. Some new Q-value correlations to assist in site characterisation and tunnel design. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 39(2):185-216.
4. Deere, D.U., Hendron, A.J., Patton, F.D., Cording, E.J. 1967. Design of surface and near surface construction in rock. In: Fairhurst, C. (ed) Failure and Breakage of Rock, 8th US Symposium on Rock Mechanics, Soc. Min. Engrs., Am. Inst. Min. Metall. Petrolm. Engrs. New York, pp:237-302.
5. El-Ramly, H. 2001. Probabilistic Analyses of Landslide Hazards and Risks: Bridging Theory and Practice, Ph.D. Dissertation, University of Alberta, Edmonton, AB, Canada.
6. Grimstad, E., Barton, N. 1993. Updating the Q-System for NMT. In: Kompen, Opshal, Berg (ed) International Symposium on Sprayed Concrete - Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support, Oslo, Norwegian Concrete Association
7. Morgenstern, N.R. 1995. Managing risk in geotechnical engineering, 3rd Casagrande Lecture, In: Proceedings of the 10th Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering.