

Una metodología para seleccionar resultados válidos a partir de ensayos de laboratorio para estimar propiedades de roca intacta con microdefectos

Russo, A.

SRK Consulting (Chile) S.A., Santiago de Chile, Chile

Hormazabal, E.

SRK Consulting (Chile) S.A., Santiago de Chile, Chile

Copyright 2016 ARMA, American Rock Mechanics Association

Este artículo fue preparado para la presentación en el 50^{vo} Simposio de Mecánica de Rocas/Geomecánica de EE.UU. realizado en Houston, Texas, EE.UU., el 26-29 de junio del 2016. Este artículo fue seleccionado para presentación en el simposio por un Comité del Programa Técnico de ARMA en base a una revisión técnica y crítica del artículo por parte de un mínimo de dos revisores técnicos. El material, como se presenta, no necesariamente refleja una posición de ARMA, sus funcionarios o miembros. La reproducción electrónica, distribución, o almacenamiento de cualquier parte de este artículo para propósitos comerciales sin autorización por escrito de ARMA está prohibida. El permiso para reproducir en forma impresa se restringe a un artículo de no más de 200 palabras; no se pueden copiar las ilustraciones. El artículo debe contener reconocimiento conspicuo de dónde y quién lo presentó.

RESUMEN: Los depósitos de pórfido de cobre se caracterizan por un macizo rocoso con una masa irregular de filones que se entrecruzan de vetas mineralizadas y vetillas que afectan el comportamiento de resistencia de la roca intacta y el macizo rocoso. La observación de las muestras sometidas a ensayo y bloques en los puntos de extracción indicó que las vetas y vetillas tienen una alta participación en el modo de falla, de acuerdo con esto, un pequeño volumen de roca que contiene vetillas de menos de 1 mm se considera representativo de la roca intacta. La descripción estructural de las muestras ensayadas indicó cuatro tipos de falla típicos y tres de ellos pueden considerarse resultados válidos para estimar las propiedades de roca intacta. Este sistema de clasificación de falla es útil para definir resultados válidos para estimar las propiedades de roca intacta. Este método se ha aplicado a varias minas operativas y proyectos en Chile obteniendo una mejor estimación de la roca intacta y propiedades del macizo rocoso y se ha aplicado para estimar la resistencia de pilares, curvas de fragmentación, estabilidad de taludes de grandes minas a rajo abierto o hundibilidad para profundas minas subterráneas aumentando la confiabilidad de los resultados.

1. INTRODUCCION

La estimación de las propiedades de roca intacta a partir de ensayos de laboratorio, como por ejemplo resistencia a compresión desconfiada, resistencia a tracción y ensayos triaxiales representa un elemento importante de la roca intacta y la caracterización geotécnica del macizo rocoso, ya que estos parámetros se usan como información de entrada para los sistemas de clasificación geotécnica, diseño geotécnico y modelamiento numérico en la industria minera.

Los depósitos de pórfido de cobre se caracterizan por una roca huésped afectada por diferentes tipos de alteración y una mineralización principalmente albergada en una masa irregular de filones que se entrecruzan de vetas y vetillas que dificultan obtener muestras de rocas intactas, como homogéneas y evitar defectos o vetas. La presencia de filones que se entrecruzan puede producir una anisotropía de resistencia en la muestra recolectada, afectando el valor del ensayo de laboratorio y la estimación de las propiedades de roca intacta. Debido a esto, en la Mina El Teniente se desarrolló una metodología [1] para seleccionar resultados válidos a partir de UCS, ensayo triaxial y brasileño para estimar una mejor manera las propiedades de roca intacta.

2. TRABAJOS PREVIOS

En el pasado, en la mina El Teniente, la estimación de las propiedades de roca intacta se basó en el análisis estadístico de los resultados obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio [1], [2], [3], sin embargo, los diferentes resultados obtenidos a partir de varias campañas geomecánicas, indicaron la necesidad de tener una buena descripción estructural de las muestras ensayadas [4], [5], [6] y se desarrolló un método para una descripción estructural detallada de cada muestra antes de y después del ensayo de laboratorio [1]. De acuerdo con este método fue posible cuantificar la participación de vetas pre-existentes en modo de falla en las muestras ensayadas y a partir de los bloques observados en los puntos de extracción, mencionando que más del 70% de las muestras ensayadas tienen una falla con participación de vetas pre-existentes y el 100% de los bloques en los puntos de extracción están delimitados por vetas pre-existentes [1]. La Figura 1 muestra el análisis estadístico del modo de falla para muestras de laboratorio ensayadas y bloques en los puntos de extracción en la mina El Teniente [1].

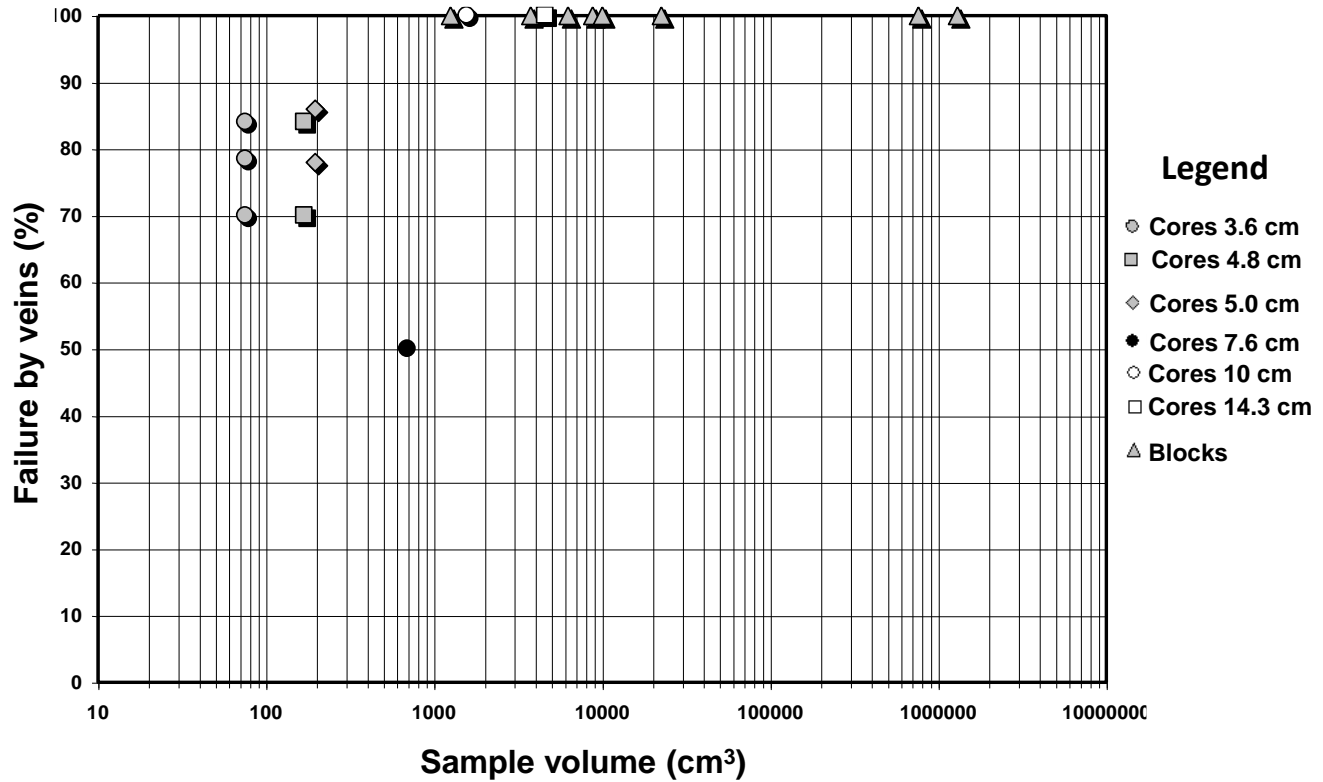


Fig. 1. Análisis estadístico del modo de falla para muestras de laboratorio y bloques en los puntos de extracción en El Teniente [1].

Debido a la relevancia que tiene la masa irregular de filones que se entrecruzan en el modo de falla de las muestras se modificó el concepto de la roca intacta. Desde el año 2000 [1] en la mina El Teniente la roca intacta no es representada por una roca homogénea e isotrópica, pero consiste en muestras de testigos con filones que se entrecruzan, cuyas vetillas son discontinuas, con un espesor menor a 1 mm y que no se consideran en el mapeo geológico o geotécnico.

Estos tipos de vetillas se pueden relacionar con los microdefectos en el sistema de clasificación IRMR de Laubscher y Jakubec (2001) [7]. De acuerdo a este concepto un pequeño volumen de roca con vetillas, contenidas entre diaclasas continuas es representativo de roca intacta en un depósito de pórfido de cobre (Figura 2).

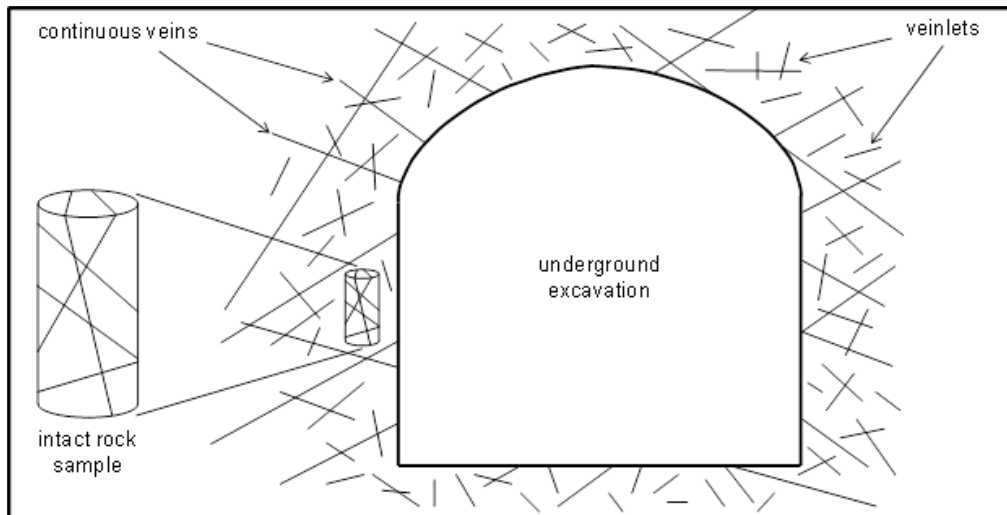


Fig. 2. Ejemplo de roca intacta en un depósito de pórfido de cobre. [1].

3. ANALISIS DE MODO DE FALLA

Después de la descripción estructural de los testigos antes y después del ensayo de laboratorio fue posible reconocer cuatro tipos de fallas de los testigos ensayados y que se describen de la siguiente manera:

Tipo A: Falla de Roca. La falla de la muestra ocurre con varios planos que no siguen las vetillas pre-existentes. Cada superficie de falla corta la matriz de la roca y las vetillas. La muestra se parte en varios trozos (Figura 3).

Tipo B: Falla Mixta. Este tipo es caracterizado por planos de falla simultáneos desarrollados a través de la matriz de la roca y a lo largo de vetillas pre-existentes. Se han reconocido dos subtipos:

Tipo B1: Una Superficie Mixta. La falla ocurre a lo largo de un solo plano que se propaga a lo largo de una vetilla pre-existente y a través de la matriz de roca. La muestra se parte en dos trozos (Figura 3).

Tipo B2: Varios Planos de Falla. Este subtipo se caracteriza por la generación de varios planos de falla simultáneos que se propagan a lo largo de la matriz y las vetillas. La muestra se parte en varios trozos (Figura 3).

Tipo C: Falla a lo largo de Varias Vetillas. La falla ocurre por, al menos, dos planos de falla simultáneos que siguen dos vetillas pre-existentes, la muestra se parte en varios trozos (Figura 3).

Tipo D: Falla de Vetilla. El plano de falla ocurre por un solo plano de falla a lo largo de una vetilla pre-existente. La muestra se parte en dos trozos (Falla D1 en Figura 3). Un caso especial de este tipo de falla se caracteriza por varios planos de falla, con un plano de falla mayor a lo largo de una vetilla pre-existente y planos de fallas menores generados después de la falla máxima (Falla D2 en Figura 3).

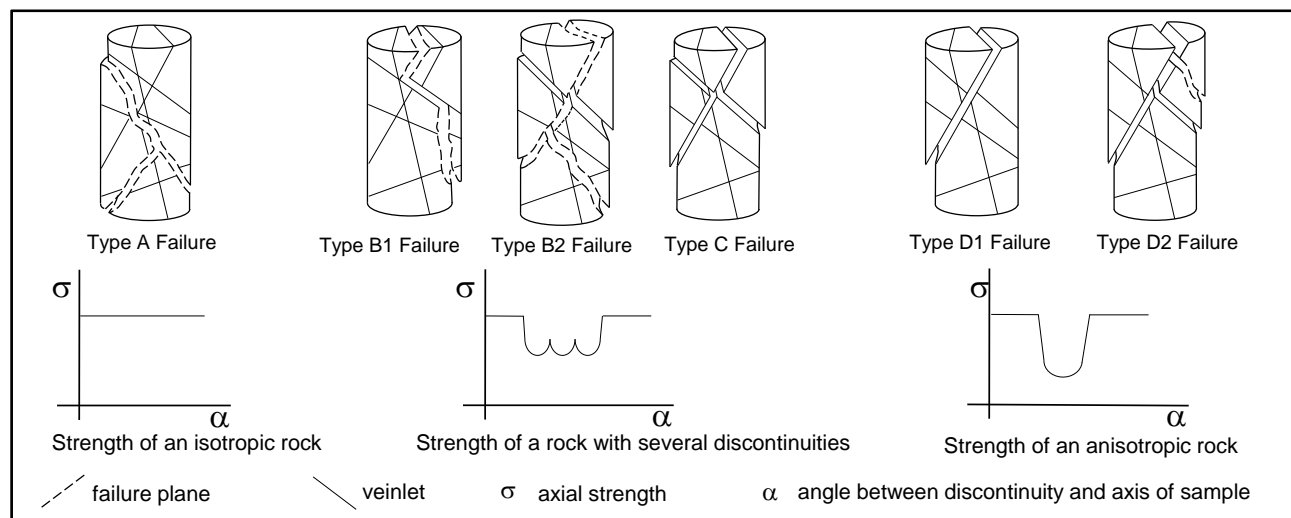


Fig. 3. Tipos de falla observadas en muestras ensayadas y tipo de resistencia de anisotropía [1].

4. SELECCIÓN DE RESULTADOS VÁLIDOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Para determinar cuales resultados de laboratorio se pueden considerar válidos para estimar las propiedades de la roca intacta es necesario revisar las muestras ensayadas y clasificar el tipo de falla como se describe arriba.

Las muestras cuyas fallas son de Tipo A y B muestran un comportamiento isotrópico o menos anisotrópico y se pueden considerar representativas de la roca intacta y se pueden considerar como resultados válidos.

Los resultados obtenidos por la falla Tipo C muestran un comportamiento menos anisotrópico y son representativos de un macizo rocoso con filones que se entrelazan. Estos resultados se pueden considerar válidos para estimar las propiedades de roca intacta.

La falla de Tipo D muestra un fuerte comportamiento anisotrópico y el resultado es representativo de la resistencia del relleno de vetilla. Estos resultados no se consideran válidos para estimar las propiedades de la roca intacta.

5. ESTIMACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA ROCA INTACTA

Para estimar las propiedades de la roca intacta como densidad, porosidad y velocidad de onda sísmica todos los resultados de ensayos de laboratorio se pueden considerar válidos debido a que los resultados no dependen del tipo de falla.

Para estimar el UCS, Resistencia a Tracción, Módulo Elástico y parámetros Hoek & Brown de la roca intacta se pueden considerar válidos los resultados obtenidos por las fallas de Tipo A, B y C. Los resultados obtenidos por la falla Tipo D en Ensayos Triaxiales se pueden usar

para estimar la cohesión y ángulo de fricción de las vetillas de relleno siguiendo la metodología propuesta por Goodman [8].

En la Figura 4, los parámetros Hoek & Brown de varias litologías en minas chilenas se han estimado de acuerdo a la metodología presentada; los resultados seleccionados se ajustan bastante bien con las envolventes de falla.

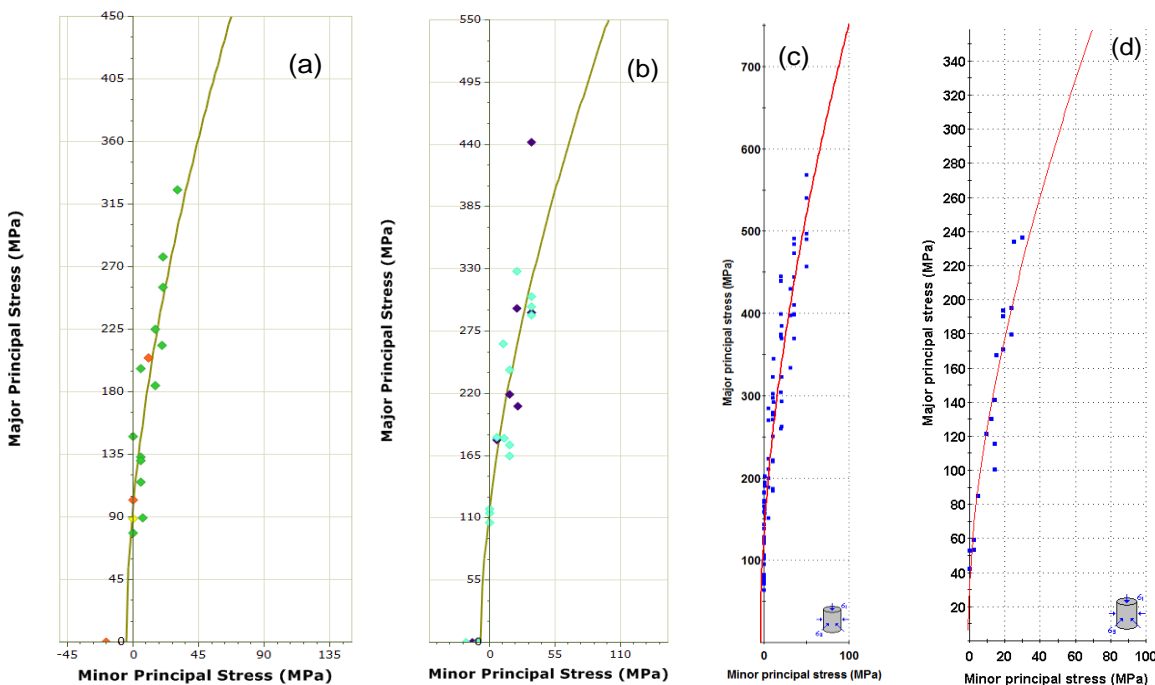


Fig. 4. Estimación de los parámetros Hoek & Brown para diferentes litologías en minas chilenas: (a) Breccia Turmalina; (b) Breccia Magmática; (c) Pórfido con alteración potásica, (d) Latita con alteración filica.

6. CONCLUSIONES

La metodología presentada en este trabajo se ha aplicado para estimar las propiedades de la roca intacta en varios depósitos de pórfido de cobre en Chile obteniendo mejores resultados que una selección usando un método estadístico. Basado en esto, la estimación de las propiedades del macizo rocoso se puede usar en la predicción de curvas de fragmentación, estimación de comportamiento de pilares, análisis de estabilidad de taludes de grandes rajes a cielo abierto o socavación para profundas minas subterráneas aumentando la confiabilidad de los resultados.

REFERENCIAS

1. Marambio, F., Pereira, J. & Russo, A. 2000. Metodología para seleccionar y analizar resultados de ensayos geotécnicos representativos de la roca intacta. IX Congreso Geológico Chileno. Puerto Varas, 2000.
2. Hoek, E. & Brown, T. 1986. Excavaciones subterráneas en roca. Calypso, S. A. 634 p. México.
3. Karzulovic, A. 1993. Brecha Braden. Caracterización de la roca intacta. Fase I: Análisis y evaluación de la información

existente. Informe Técnico, A. Karzulovic & Asoc. Ltda.

4. Karzulovic, A. 1997. Caracterización geomecánica rocas Proyecto Esmeralda. Informe Técnico, A. Karzulovic & Asoc. Ltda.
5. Karzulovic, A. 1993. Ensayos de laboratorio (roca intacta). Brecha Braden. Informe Técnico, A. Karzulovic & Asoc. Ltda.
6. Karzulovic, A. 1996. Revisión y calificación trabajo de caracterización andesitas, dioritas y dacitas Sector Norte, desarrollada por la Superintendencia de Geología de División El Teniente. Proposición programa geotécnico para la continuación del trabajo (fase II). Nota Técnica N° DT-RN-96-001, A. Karzulovic & Asoc. Ltda.
7. Laubscher, D. H. & Jakubec, J. 2001. The MRMR rock mass classification for jointed rock masses. Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Histories. W. A. Hustrulid & Bullock R. L. eds. Society of Mining Engineers, Colorado, pp. 455 – 463.
8. Goodman, R. E. 1989. Introduction to Rock Mechanics. Second Edition. Joh Wiley & Sons Eds.