

METODOLOGIA DE CARACTERIZACION GEOTECNICA A PARTIR DE TESTIGOS DE SONDAJES DE DIAMANTINA EN ROCAS ALTERADAS, Y SU APLICACIÓN EN MINERIA A RAJO ABIERTO Y SUBTERRANEA.

VILLARROEL, Renato. (1), MERINO, Luis. (1), LEIVA, Gabriel. (2), SANCHEZ, Gerardo. (1)

(1) Departamento de Ingeniería de Minas. Universidad de Chile.

(2) División Radomiro Tomic, CODELCO-Chile

RESUMEN

Se presenta una metodología para el levantamiento geotécnico de núcleos de sondajes de diamantina, especialmente para rocas afectadas por meteorización y/o alteraciones geológicas. Este levantamiento consta de dos planillas complementarias, donde la primera corresponde a un levantamiento básico de parámetros geotécnicos, por tramos de perforación, mientras que la segunda corresponde a la definición y levantamiento geotécnico de tramos de iso-calidad.

La descripción y análisis de los parámetros geotécnicos básicos de medición en testigos de sondajes de diamantina, como son el RQD, frecuencia de fracturas y espaciamiento se ven entorpecidos por la irregularidad de las muestras obtenidas, las cuales corresponden en algunos casos solamente a roca triturada, o degradada a suelo, o una alternancia de trozos de rocas separados por tramos de roca totalmente alterada. Debido a lo anterior se ha adoptado la metodología de medir el largo de todos los trozos de testigos limitados por fracturas abiertas de origen geológico, realizando esta medición a través del eje de rotación del testigo. También se ha definido el porcentaje de roca y el de roca molida.

INTRODUCCION

Dentro del desarrollo minero, tanto de nuevos yacimientos, como de expansiones mineras, se requiere perforar enormes cantidades de sondeos diamantinos para la recuperación de testigos, con el propósito de evaluar geológica y geotécnicamente el macizo rocoso. Generalmente dentro de estas campañas, el objetivo primordial es el de determinar los recursos mineros disponibles, que serán finalmente el objetivo del diseño minero. Posteriormente se adicionan en forma más selectiva sondajes geotécnicos, destinados a reconocer los sectores no mineralizados, que se encuentran en el entorno del yacimiento, y que corresponderán a las

rocas que conformarán los taludes mineros, o las rocas de caja de caserones o hundimientos mineros.

Con el propósito de aprovechar al máximo esta gran cantidad de sondeos, y considerando un pequeño lapso de tiempo para el mapeo de ellos, los que serán cortados por la mitad para su análisis químico, quedando sólo almacenados en la bodega las mitades partidas de ellos, se ha desarrollado una metodología de levantamiento geotécnico de sondajes, la cual va de la mano con la caracterización geológica de los testigos recuperados del sondeo.

Para el desarrollo de esta metodología se consideraron algunos parámetros adicionales a los comúnmente utilizados, que permiten caracterizar de mejor forma las zonas de alteración geológica, e intemperismo de las rocas.

En forma paralela a la etapa de sondeos, se revisan y levantan las estructuras superficiales y de faenas previas, tanto a nivel de distrito, como a nivel del proyecto. Esta información permitirá junto con la información determinada a partir de la campaña de sondeos mineros, determinar y ajustar la información necesaria para la definición de un modelo geotécnico del yacimiento minero estudiado (Leiva y otros, 2000). No se incluye en este trabajo lo referente a la orientación de testigos con propósitos estructurales, por lo complejo del tema y el poco espacio disponible para este trabajo.

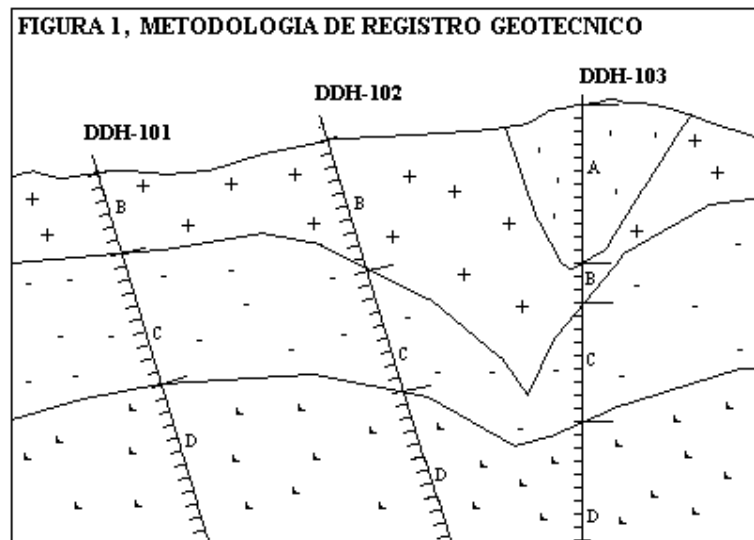
Esta metodología se ha utilizado en diversas aplicaciones mineras, como en el proyecto y construcción de la Mina Radomiro Tomic, mina Rayrock, mina El Salvador, y en una serie de proyectos y aplicaciones mineras.

CARACTERÍSTICAS DE LA METODOLOGÍA

El levantamiento de los datos geotécnicos consta de dos partes, la primera, corresponde a un levantamiento sistemático de tramos de perforación o tramos entre tacos de perforación, es decir se determinan las propiedades geotécnicas básicas para cada tramo perforado. La segunda parte del levantamiento corresponde a un levantamiento dirigido, el cual considera varios tramos de testigos de sondeos de igual aspecto y comportamiento geotécnico. Para este tramo se determinan las propiedades de las estructuras, la resistencia de la roca, el grado de meteorización y se realiza una estimación visual del GSI.

La Figura 1, muestra una sección geotécnica con cuatro unidades, la cual ha sido definida en base a el mapeo de tres sondajes de diamantina. A la izquierda de cada sondaje se observa un espaciado regular, que corresponde a los tramos considerados por el “Levantamiento Geotécnico Básico”, constituido por tramos de perforación, mientras que a la derecha se observan tramos irregulares que constituyen tramos de iso-calidad geotécnica, determinados

en el “Levantamiento por Tramos Geotécnicos” los cuales finalmente se correlacionan con otros sondeos, para obtener zonas de iso-calidad. En el ejemplo de figura 1 se han definido 4 unidades geotécnicas A, B, C, y D.



DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MEDICION

A continuación se describen los parámetros básicos considerados para las dos etapas del mapeo geotécnico, correspondientes a las etapas de “Mapeo Geotécnico Básico”, y, “Mapeo por Tramos Geotécnicos”.

Mapeo Geotécnico Básico

Esta etapa del levantamiento geotécnico corresponde a un levantamiento sistemático de parámetros geotécnicos, los cuales son registrados, entre tramos de perforación (tacos), y/o tramos sistemáticos. Para cada tramo se determinan el número de fracturas, el largo de los trozos de roca, el tipo de molido y el grado de meteorización, cuyo formato de medición se presenta en la figura 2, la forma de medición se describe a continuación:

Tramo de Sondeo Corresponde al tramo de perforación considerado, se incluye la posición de perforación de inicio (DESDE) y termino del tramo (HASTA). En algunos casos estos tramos de perforación son regularizados a tramos regulares, en cuyo caso se podrá utilizar los tramos regulares, con la debida precaución con respecto al corte artificial de trozos de sondeos.

FIGURA 2, Formato de Mapeo Geotécnico Básico

N°	Tramo Sondeo		N° FRACTURAS				LARGO DE TROZOS DE ROCA																				Tipo Molido	Grado Meteorización
	DESDE	HASTA	0-30°	30-60°	60-90°	Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
1																												
2																												
3																												
4																												
5																												
6																												
7																												
8																												
9																												
10																												
11																												
12																												
13																												
14																												
15																												
16																												
17																												
18																												
19																												
20																												

N° de Fracturas Se contabilizan todas las fracturas abiertas de origen geológico presentes en un determinado tramo de sondaje, evitando contar todas aquellas estructuras abiertas por la manipulación de los testigos ya sea a través de planos de debilidad o a través de la matriz de la roca. Se agruparán las estructuras de acuerdo al ángulo menor que forman con respecto al eje del testigo o ángulo α (Figura 3), los rangos utilizados corresponden a: 0-30°, 30-60° y 60-90°, además del total que es la suma de las estructuras contabilizadas en estos rangos, y que se describen en la figura 4.

Largo de Trozos de Roca Este ítem considera la medición de todos los trozos de roca separados por estructuras geológicas abiertas, que presenten sonoridad (Deere 1968), que tengan un grado de meteorización bajo, entre I y III, los testigos con grados de IV, V, y VI no se deben medir. Se recomienda utilizar una línea o eje central para medir en ella la longitud de los tramos, este método es recomendado por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM, 1981). Las rupturas causadas por el proceso de perforación o el operador, que son usualmente evidenciadas por superficies rugosas frescas, no deben ser incluidas y se deben considerar como un solo trozo de testigo.

Tipo de Molido Corresponde a una descripción del material disgregado recuperado por la perforación del sondeo, que puede presentar un comportamiento como suelo, o los tramos de roca triturada que no es capaz de mantener la forma cilíndrica producida por la corona de perforación y las zonas con alto grado de meteorización (IV, V, y VI). La Figura 5 describe las categorías de caracterización utilizadas. Dempers (1994) denomina el molido como “matriz”, y la define como el material que va desde la arena a trozos más largos de roca que derivan de fallamientos, cizalles, y horizontes deformables.

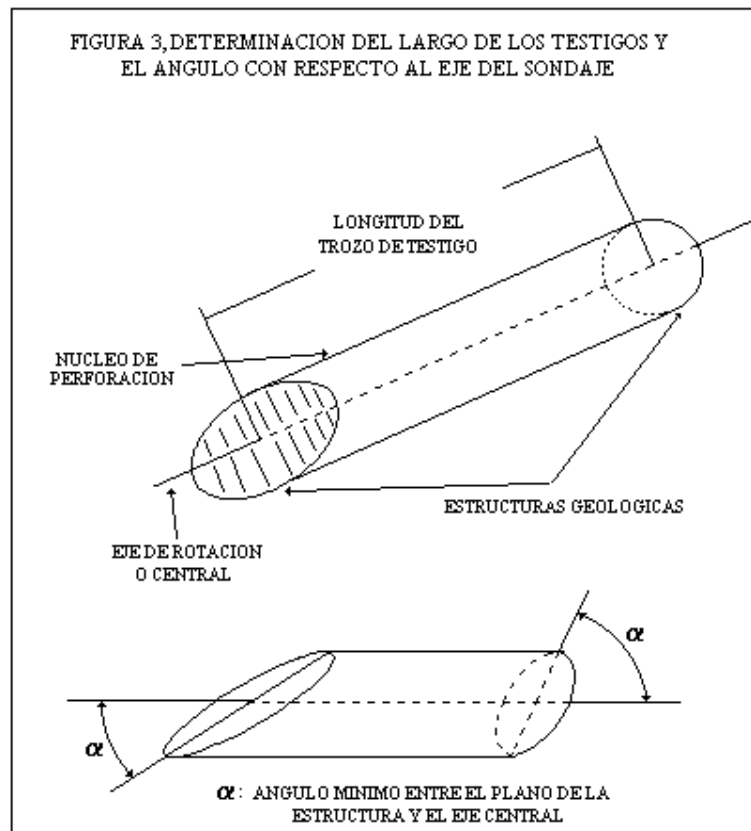


FIGURA 4, CATEGORIZACION DE ESTRUCTURAS SEGÚN SU ANGULO CON RESPECTO AL EJE DEL TESTIGO

Angulo C/R Eje	Descripción
0°-30°:	Número de fracturas con un ángulo entre 0 y 30° respecto al eje del testigo.
30°-60°:	Número de fracturas con un ángulo entre 30 y 60° respecto al eje del testigo.
60°-90°:	Número de fracturas con un ángulo entre 60 y 90° respecto al eje del testigo.
Total:	Número total de fracturas, suma de los tres items anteriores.

FIGURA 5, Clasificación del Tipo de Molido (Villarreal, 1994)

Tipo Molido	Descripción
Fino	Material principalmente de grano fino con escasos fragmentos de mayor tamaño.
Medio	Es aquel que presenta una mezcla de arenas o suelo y fragmentos de roca más gruesos, siendo en general los fragmentos, menores o iguales al radio de la sección del testigo.
Grueso	Predominan los fragmentos de tamaño superior al radio del testigo, pero se presentan como trozos donde no se puede reconstruir el cilindro original de perforación.

Grado de Meteorización Para cada tramo considerado se realizará una estimación del grado de meteorización de acuerdo a lo recomendado por ISRM (1981), que se presenta en la Figura 6.

FIGURA 6, Grado de Meteorización ISRM (1981)

TERMINO	DESCRIPCION	GRADO
Roca Fresca	No presenta signos visibles de meteorización en la roca: tal vez una leve decoloración en las superficies de las discontinuidades mayores.	I
Levemente Meteorizada	La decoloración indica meteorización de la roca y en las superficies de las discontinuidades. La roca en su totalidad puede estar decolorada por la meteorización y puede estar externamente algo más débil, que en su condición fresca.	II
Moderadamente Meteorizada	Menos de la mitad de la roca esta descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La roca fresca o decolorada se puede presentar como colpas o testigos continuos.	III
Muy Meteorizada	Más de la mitad de la roca esta descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La roca fresca o decolorada se puede presentar como colpas o testigos discontinuos.	IV
Completamente Meteorizada	Toda la roca esta descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La estructura original del macizo aún se mantiene en gran parte intacta.	V
Suelo Residual	Toda la roca está convertida como suelo. La estructura del macizo y la fábrica del material están destruidas. Existe un gran cambio de volumen, sin embargo el suelo no ha sido transportado significativamente.	VI

Mapeo por tramos geotécnicos

Una vez completado el mapeo básico se procede a la definición de los tramos geotécnicos, para ello, se debe revisar los núcleos del sondaje completo y definir tramos de sondajes de iguales características geotécnicas.

Dentro de la definición de tramos geotécnicos se deberán considerar en especial los cambios litológicos, de alteración y mineralización. Es importante en este caso apoyarse en el registro del levantamiento geológico. Los tramos definidos serán caracterizados de acuerdo a los parámetros geotécnicos que se muestran en la Figura 7, que corresponde al formato de Mapeo por Tramos Geotécnicos.

Tramo Geotécnico Este parámetro está constituido por la posición de inicio (DESDE) y la posición de termino (HASTA) de un tramo de igual calidad geotécnica, el cual es definido por la persona que efectúa el levantamiento geotécnico.

FIGURA 7, Formato De Mapeo Por Tramos Geotécnicos

[illegible]

Caracterización de Estructuras

A continuación se describen las propiedades geotécnicas de las estructuras geológicas las cuales son caracterizadas para cada tramo definido. Preferentemente se caracterizan las estructuras abiertas, más representativas de cada tramo, para el caso de fallas que presentan rellenos importantes, ellas se caracterizan individualmente con este mismo formato.

Rugosidad (JRC) Este parámetro permite estimar el grado de aspereza natural presente en las discontinuidades de la roca a escala menor (10 cm), siendo un importante parámetro para la caracterización de la condición de las discontinuidades. El JRC ha sido definido por Barton y Choubey (1977) para el cálculo del coeficiente de rozamiento interno de la roca. Sin embargo la medición del JRC, no permite conocer el comportamiento de las discontinuidades a gran escala, lo cual es de gran importancia, las mediciones de la rugosidad a gran escala deberán ser obtenidas a partir de levantamientos geotécnicos directos en terreno ya sea en galerías, caserones, afloramientos, o en taludes.

Resistencia Relleno Se define el relleno como el material que se ubica entre las paredes de las discontinuidades de la roca, en general las estructuras que presentan relleno son fallas o vetillas. Para la determinación de la resistencia del relleno, se considera el uso de la figura 8, la que corresponde al criterio empírico para la estimación de la resistencia del material (ISRM 1981). Los valores de S1 a S6 se deben aplicar a suelos y los valores R0 a R6 se deben aplicar a roca. En el caso de ocurrir más de un tipo de relleno, se debe preferir el de peor condición, sin embargo, se pueden también caracterizar los dos tipos en el mismo formato.

Resistencia Pared Para estimar la resistencia de las paredes se debe utilizar los criterios para la estimación de la resistencia del material, descritos en la Figura 8. La figura 9 ilustra los conceptos de relleno, pared de la estructura, y matriz. Generalmente las paredes de las estructuras, en especial las fallas y estructuras mayores, presentan un grado de meteorización y/o alteración hidrotermal más intenso que la matriz de la roca, o sea la roca que se encuentra alejada de las estructuras.

FIGURA 8, Criterios para la Estimación de la Resistencia del Material (ISRM 1981)

Grado	Descripción	Identificación de terreno	Rango aproximado de resistencia a la compresión uniaxial (Mpa)
S1	Arcilla Muy Blanda	Fácilmente penetrable varias pulgadas con el puño.	<0,025
S2	Arcilla Blanda	Fácilmente penetrable varias pulgadas con el pulgar.	0,025-0,05
S3	Arcilla Firme	Puede ser penetrada varias pulgadas con el pulgar, con esfuerzo moderado.	0,05-0,10
S4	Arcilla Rígida	Fácilmente marcada por el pulgar, solamente puede ser penetrada con gran esfuerzo.	0,10-0,25
S5	Arcilla Muy rígida	Fácilmente marcada por la uña.	0,25-0,50
S6	Arcilla Dura	Marcada con dificultad por la uña.	>0,50
R0	Roca Extremadamente Débil	Marcada por la uña.	0,25-1,0
R1	Roca Muy Débil	Se disgrega por un golpe fuerte de la punta del martillo geológico, puede ser escarbada por el cortaplumas.	1,0-5,0
R2	Roca Débil	Puede ser escarbada por el cortaplumas con dificultad, se deforma o disgrega por un fuerte golpe de la punta del martillo.	5,0-25
R3	Roca Medianamente Fuerte	No puede ser escarbada o disgregada por una cortaplumas, la muestra se fractura con un solo golpe firme del martillo geológico.	25-50
R4	Roca Fuerte	La muestra requiere más de un golpe del martillo geológico para ser fracturada.	50-100
R5	Roca Muy Fuerte	La muestra requiere de muchos golpes del martillo geológico para ser fracturada.	100-250
R6	Roca Extremadamente Fuerte	La muestra solo puede ser astillada con el martillo geológico.	>250

Alteración de las Paredes La alteración de las paredes se refiere al grado de alteración de éstas con respecto a la matriz de la roca, en este caso el núcleo del testigo. La figura 9 muestra los criterios utilizados para determinar este parámetro. Es importante señalar que este parámetro se refiere a la variación comparativa en las propiedades resistentes de la roca.

Figura 9 Criterios para determinar el grado de alteración de las paredes

Código	Grado de Alteración	Descripción
1	Alta	La pared se encuentra totalmente alterada, y su grado de alteración es alto con respecto a la matriz de la roca.
2	Media	La pared se encuentra medianamente alterada y su grado de alteración es medio con respecto a la matriz.
3	Baja	La pared se encuentra ligeramente alterada en relación a la matriz.
4	Igual Matriz	El grado de alteración entre la pared y la matriz es similar.
5	Menor Matriz	La pared se encuentra menos alterada que la matriz de la roca.

Tipo de Relleno Corresponde a los tipos mineralógicos que constituyen el relleno de la estructura, con énfasis en los de menor resistencia. Por ejemplo Arcilla, Yeso, Brecha de Falla, etc.

Caracterización Matriz de la Roca

Las propiedades de la matriz de la roca o “Roca Intacta”, se determinan principalmente a través de ensayos de laboratorio en probetas extraídas para las diferentes unidades geológico-geotécnicas definidas, para lo cual se deberá, una vez finalizado el levantamiento geotécnico, extraer probetas para este fin. Dentro de la etapa de caracterización se estiman la resistencia de la matriz y el grado de meteorización del tramo geotécnico.

Resistencia de la Matriz y Grado de Meteorización La resistencia de la matriz de la roca se estima de acuerdo a la Figura 8, mientras que el grado de meteorización se estima para el tramo completo, realizándose de igual forma que en lo descrito en el procedimiento de “Mapeo Geotécnico Básico”.

Estimación GSI

El Índice Geológico de Resistencia (GSI), propuesto por Hoek (1994), y Hoek, Kaiser y Bawden (1995), ha sido modificado para incorporar rocas masivas y foliadas por Hoek, Marinos y Benissi (1998), proponiéndose utilizar esta última para la metodología de este trabajo. Para determinar este índice, se analizan dos parámetros geológico-geotécnicos los cuales corresponden a la “Estructura del Macizo Rocoso” y la “Condición de las Discontinuidades” (ver figura 10). Si bien al revisar las cajas de los sondeos, no se puede realizar la mejor estimación del GSI, esta se mejora y ajusta con la obtención de las clasificaciones geotécnicas (RMR, MRMR, y Q), con el desarrollo de nuevas labores mineras y del análisis retrospectivo de las obras construidas, que permiten ir mejorando el método de caracterización.

Figura 10, Caracterización del Índice de Resistencia Geológico (Hoek y otros, 1998)

ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO	CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES
INTACTO O MASIVO: Macizo rocoso in situ o especímenes de roca intacta, con escasa discontinuidades ampliamente espaciadas.	
FRACTURADO EN BLOQUES: macizo rocosos conformado por trozos o bloques de roca bien trabados de forma cúbica y definidos por tres sets de estructuras, ortogonales entre sí.	MUY BUENO: Superficies muy rugosas y paredes frescas sin meteorización.
FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES: Macizo rocoso algo perturbado, conformado por trozos o bloques de roca trabados de varias caras angulosos y definidos por cuatro o más sets de estructuras.	BUENO: Superficies rugosas , paredes levemente meteorizadas, con pátinas de óxido de hierro.
FRACTURADO Y PERTURBADO: Macizo rocoso plegado y/o fallado con bloques angulares formados por la intersección de numerosos sets de estructuras	REGULAR: Superficies lisas , paredes moderada mente meteorizadas y alteradas.
DESINTEGRADO: Macizo rocoso muy fracturado y quebrado conformado por un conjunto pobremente trabado de bloques y trozos de roca angulosos y también redondeados.	MALA: Superficies lisas y cizalladas, paredes muy meteorizadas con recubrimientos compactos o rellenos de fragmentos angulares.
FOLIADO-LAMINADO-CIZALLADO: Rocas débiles plegadas y cizalladas tectónicamente. Carencia de formación de bloques debido a la esquistocidad que prevalece sobre otras estructuras	MUY MALA: Superficies cizalladas , muy meteorizadas con recubrimientos o rellenos arcillosos blandos.

CALCULO DE OTROS PARAMETROS GEOTECNICOS

En base a la información de mapeos anterior se pueden determinar los siguientes parámetros geotécnicos:

Espaciamiento Medio Si el tramo de roca $L_1 = \Sigma(\text{largo de testigos de roca limitados por estructuras, del tramo } L)$ y, $N_1 = \text{Número de testigos considerados}$, el espaciamiento medio: $E = L_1/N_1 \text{ m}$, y la frecuencia de fracturas $ff = N_1/L_1 \text{ m}^{-1}$.

La diferencia $L_2 = (L - L_1)$ se define como el tramo del sondaje que no fue recuperado, o no cae dentro de los rangos I, II, y III del grado de meteorización, o finalmente es un tramo de roca molida, muy fracturada, donde no se reconoce la forma del cilindro del sondaje.

RQD El RQD es una modificación del porcentaje de recuperación de testigos en que todas las piezas de testigos con “sonoridad al ser golpeadas”(Deere y Deere, 1988), con un largo sobre 100 mm (4 pulgadas), son sumadas y divididas por el largo del tramo considerado.

Porcentaje de Roca Se define como porcentaje de roca, al porcentaje del tramo considerado que presenta roca con un grado de meteorización entre I y III, de acuerdo a la figura 6 y que además se pueda reconstruir la forma del cilindro original. El largo del tramo considerado L , el porcentaje de Molido P_m y el porcentaje de roca P_r , están relacionados por las siguientes formulas: El tramo de roca $L_1 = \Sigma (\text{largo de testigos de roca limitados por estructuras, del tramo } L)$. El tramo de molido $L_2 = L - L_1$; $L = L_1 + L_2$; $P_m = L_2/L * 100$; $P_r = L_1/L * 100$; $L = (P_m + P_r) L/100$

Porcentaje de Molido El porcentaje de molido ha sido definido, como el porcentaje del tramo de sondaje que presenta un comportamiento como suelo. También se ha signado a los tramos de testigos perforados sin recuperación o a los tramos donde el testigo recuperado, no es capaz de mantener la forma cilíndrica producida por la corona de perforación. Para mejorar esta definición se considerará como molido los siguientes tramos de sondaje:

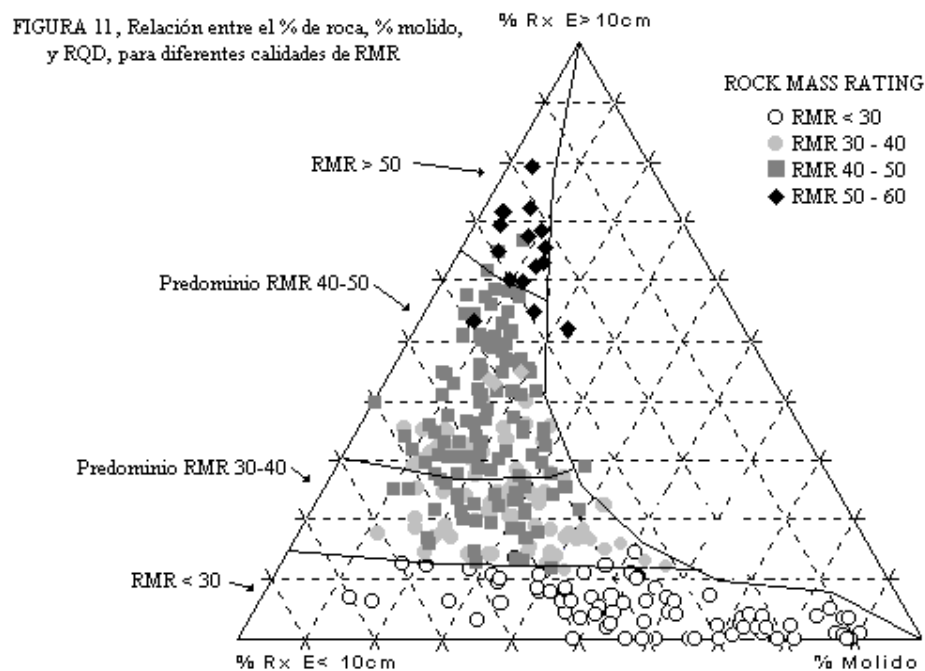
- Cuando el grado de meteorización sea IV, V, VI (Figura 6).
- Los tramos no recuperados, considerando que la perforación ha sido realizada adecuadamente.
- Los tramos de roca muy fracturada, en que no se pueda reconstruir o reconocer el cilindro de roca original

CARACTERIZACION GEOTECNICA

Los parámetros geotécnicos levantados por medio de las dos planillas descritas, permitirán generar una base de información geotécnica, a la cual podrá agregarse, el diámetro de perforación, la recuperación %, y las características de ubicación y disposición espacial de cada sondaje. Lo anterior, en conjunto con la información geológica-geotécnica recopilada en

superficie, o en laboreos cercanos, permitirá caracterizar geotécnicamente los tramos de roca cortados por los sondajes, y de acuerdo a los requerimientos de diseño se seleccionará el sistema de clasificación geotécnico, más adecuado (GSI, RMR, MRMR, Q, etc).

Los valores obtenidos para los porcentajes de Molido, y de Roca, se pueden correlacionar con el espaciamiento medio, el RQD, el grado de meteorización y las diferentes categorías de clasificaciones geotécnicas. La importancia de estos parámetros depende especialmente de las condiciones de alteración mecánica de las rocas estudiadas. La figura 11, muestra un diagrama ternario, que correlaciona el RQD, la roca con espaciamientos menores que 10 cms, y el molido, para diferentes calidades de RMR, para una secuencia de rocas volcánicas y sedimentarias alteradas e intemperizadas.



OTRAS RECOMENDACIONES

Fotografía La fotografía de los núcleos o testigos de la perforación son un valioso testimonio gráfico del estado del macizo rocoso, es por ello que se deben fotografiar todos los núcleos antes de ser partidos para su análisis químico. La fotografía debe ser nítida y no presentar perspectiva alguna, es ideal fotografiar un grupo de cajas, las cuales deben aparecer como un rectángulo perfecto en la fotografía.

Calidad del testigo recuperado La calidad del testigo recuperado depende de la perforación, de la manipulación de los testigos al ser extraídos, el transporte y almacenamiento de éstos. Es muy importante controlar todas estas etapas adecuadamente y disponer de contratos adecuados y una inspección técnica que permita asegurar la correcta extracción y manipulación de los testigos extraídos.

Recolección de probetas Cada cierto tramo predefinido, se recolectarán núcleos para efectuar ensayos de caracterización de la roca intacta, cuyo programa dependerá de los requerimientos de información necesarios para la evaluación del proyecto geotécnico analizado.

Experiencia del personal Es de suma importancia que el levantamiento geotécnico de los sondeos sea realizado por profesionales idóneos en geotécnica, especialmente geólogos geotécnicos. Por otro lado, la campaña de mediciones deberá ser liderada por un profesional, de a lo menos 10 años de reconocida experiencia.

REFERENCIAS

BARTON N., CHOUBEY V., 1977. The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock Mechanics* 12, p 1-54.

International Society for Rock Mechanics. 1981. Rock characterization, testing and monitoring - ISRM suggested methods. Pergamon Press, Oxford, 211 p.

DEERE, D.U., "Geologic Considerations," Chapter 1 of *Rock Mechanics in Engineering Practice*, K.G. Stagg and O.C. Zienkiewicz, Eds., Wiley, New York, 1968, pp. 1-20.

DEERE, D.U. and DEERE, D.W., "The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice," *Rock Classification Systems for Engineering purposes*, ASTM STP 984, Louis Kirkaldie, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1988, pp. 91-101.

DEMPERS, G.D., 1994. Optimal Usage of Exploration Core for Geotechnical Purposes. IV CSMR / Integral Approach to Applied Rock Mechanics, Santiago, Chile, p 219-330.

HOEK E., 1994. Strength of rock and rock masses, *ISRM News Journal*, 2(2), 4-16.

HOEK E., KAISER P.K. y BAWDEN W.F. 1995. Support of Underground excavations in Hard Rock, p. 215, Balkema, Rotterdam.

HOEK, E., MARINOS, P., y BENISSI, M. 1998. Applicability of the Geological Strength Index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the Athens Schist Formation. *Bull Engg. Geol. Env.* 57(2), 151-160.

LEIVA G., VALDES R., ARAVENA Y., VILLARROEL R., 2000. Caracterización Geotécnica-Estructural, Mina Radomiro Tomic, Actas 9º Congreso Geológico Chileno, Volumen 1, p 261-265.

VILLARROEL, R., 1994. Metodología para el Levantamiento Geotécnico de Sondeos en Fotografías, CODELCO - CHILE, Gerencia de Exploraciones, Calama, Inedito GL-NI-134/94, 40 p.