

CARACTERIZACION DE UNIDADES DE SUELO Y ROCA EN MAPAS INGENIERO GEOLÓGICOS DE ESCALA MEDIANA Y DE DETALLE

AREVALO ORTIZ Ciro Antonio, VASQUEZ PEÑA Juan Carlos

Golder Associates Perú S.A. Edificio Miracorp piso 7, Av. La Paz 1049, Miraflores –Lima 18, Lima-Perú

carevalo@golder.com.pe , jvasquez@golder.com.pe

RESUMEN

En este documento se resalta las limitaciones que tienen los mapas ingeniero geológicos provenientes únicamente del relevamiento de la superficie del terreno para su aplicación en proyectos de ingeniería y se expone de manera sucinta la manera en que, por ejemplo, las unidades de roca y suelos mostradas en un mapa puede incorporar información comprensiva sobre la caracterización geotécnica de éstas, y es una muestra de lo que debiera llevarse a cabo en el camino de elaborar una guía para la elaboración de planos ingeniero geológicos de escala mediana y de detalle con información únicamente recabada in situ.

INTRODUCCIÓN

Todo proyecto de ingeniería que tiene que ver con el terreno requiere información del medio geológico. En ese sentido, los primeros pasos comprenden la búsqueda y recopilación de estudios geológicos previos, y subsecuentemente la elaboración del mapa ingeniero geológico específico del área del proyecto.

Los mapas geológicos con fines de ingeniería como se practican en nuestro medio, salvo raras excepciones, reportan información de utilidad limitada para orientar a los ingenieros en la toma de decisiones, y en la mayoría de los casos no son otra cosa que adecuaciones de mapas geológicos gubernamentales de escala regional. Alrededor del mundo hay numerosas propuestas para la elaboración de mapas ingeniero geológicos, inclusive con detalles muy útiles de parámetros geofísicos y con características físicas y mecánicas del subsuelo provenientes de ensayos de laboratorio, pero no así mapas con información geotécnica relevante proveniente únicamente la superficie, que es la información primaria directa para el planeamiento del proyecto y la elaboración del programa de investigaciones geofísicas y geotécnicas. En este trabajo, se pone a consideración una propuesta para representación de la caracterización de las unidades de suelo y roca diferenciadas en los mapas ingeniero geológicos a escala 5:000 ó mayores, cuya utilidad y versatilidad para distintos tipos de proyectos de ingeniería han sido verificados por los autores de este documento.

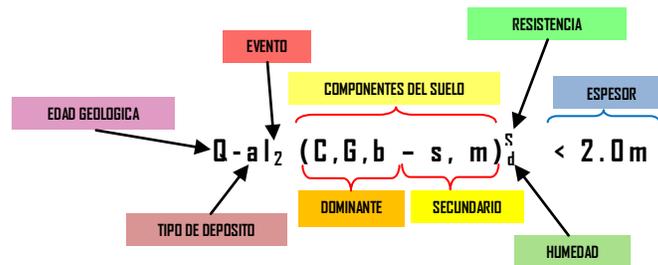
VENTAJAS Y ÁMBITO DE APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PROPUESTO

El procedimiento que se propone tiene como resultado un mapa ingeniero geológico con información relevante de la caracterización de las unidades de suelos y rocas diferenciadas en el mapeo, cuya elaboración y lectura recurre a códigos y reglas sencillas que pueden ser fácilmente comprendidas por los usuarios. De esta manera, de la lectura del plano es posible contar con información para una primera evaluación del terreno en función de los requerimientos de un proyecto en particular donde hay necesidad de una adecuada caracterización del medio geológico de interés para una obra de ingeniería. En el caso de estructuras de trazo lineal, como son los ductos (oleoductos, gasoductos, mineroductos, etc.) y carreteras, su utilidad se acrecienta, pues un mapa con adecuada información ingeniero geológica conlleva de manera directa a la zonificación geotécnica del trazo y a la elaboración de secciones representativas con información útil para una primera aproximación en términos de excavabilidad, pre diseño de los taludes de corte, condiciones de humedad del terreno, entre otros, puesto que este tipo de obras en gran parte del trazo comprometen a los primeros metros del subsuelo.

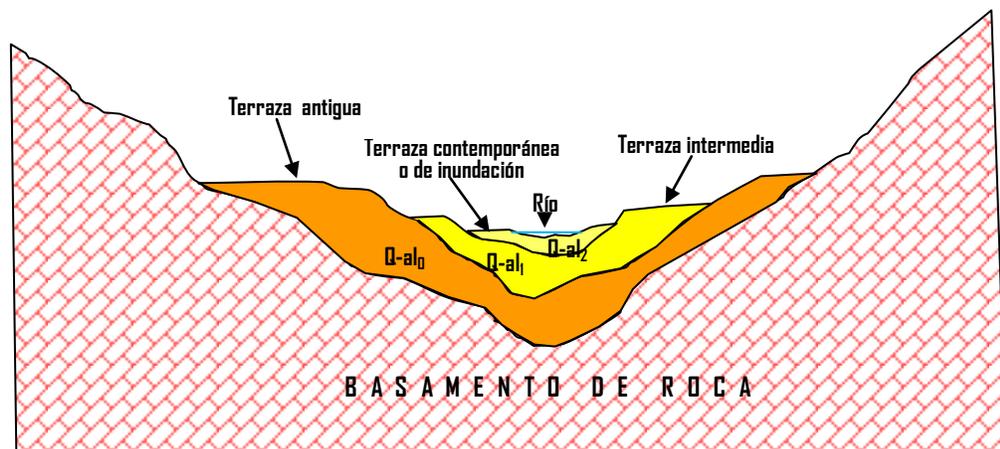
El procedimiento que se propone, utiliza data recabada únicamente del terreno, tanto de las características geomorfológicas, de los afloramientos de roca, de la exposición del suelo en cortes naturales o practicados para construcciones y de la interpretación geológica del medio. En tal sentido, los mapas que resultan deberán ser tomados como una primera aproximación en el entendimiento ingeniero geológico de la locación del proyecto, y que no relevan a los mapas geotécnicos con fines de diseño, cuya elaboración toma en cuenta los resultados de las investigaciones geofísicas (sísmica de refracción, resistividad eléctrica, etc.), y geotécnicas (perforaciones, calicatas, galerías exploratorias, ensayos de laboratorio, etc.). Es preciso aclarar que además de las unidades ingeniero geológicas diferenciadas de acuerdo al procedimiento que se propone, también deben mostrar las estructuras geológicas, manifestaciones hidrogeológicas, rasgos geomorfológicos, etc.

NOMENCLATURA Y SINTAXIS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE SUELOS

Partiendo del siguiente ejemplo, la estructura de la nomenclatura que se sugiere para caracterizar una unidad de suelo bajo el contexto ingeniero geológico es la siguiente:



Componente Geológico Q-al₂: Q, en mayúscula, indica que es una unidad del Cuaternario, mientras que delante del guión, dos letras en minúsculas especifican el tipo genético, en este caso se refiere a un depósito aluvial: **al** (otras unidades comunes son los depósitos morrénicos: **mo**, eólicos: **eo**, eluviales: **el**, coluviales: **co**, turba: **tu**, suelo residual: **re**, etc.). El sub índice representa la antigüedad relativa del depósito. Así, el subíndice ₀ se reserva para aquellos eventos que son pleistocénicos, ₁ para aquellos que deviene de procesos del Holoceno pero sin manifestaciones en nuestros días y ₂ para aquellos que están relacionados con eventos que nos son contemporáneos. Estos subíndices ayudan a la comprensión de la sucesión de eventos y facilitan la interpretación de la inter-relación de los procesos geodinámicos. La siguiente figura ilustra este último punto.



Constituyentes del suelo (C, G, b – s, m): Las letras que van entre paréntesis son abreviaturas de los componentes del suelo con base al tamaño de las partículas y en función al porcentaje con que participan en la composición del suelo:

GRUPO	DESIGNACIÓN	TAMAÑO (mm)	SI > 25 %	SI 5 - 25 %
COMPONENTES GRUESOS	Bloque	>300	B	b
	Canto	70 - 300	C	c
	Grava	5 - 70	G	g
COMPONENTES FINOS	Arena	0.1 - 5	S	s
	Limo	< 0.1	M	m
	Arcilla	< 0.1	A	a

De la tabla anterior se desprende que las mayúsculas están reservadas para cuando los componentes de un rango de tamaño superan el 25 % de la masa de suelo, y las minúsculas cuando representan entre 5 y 25 %. Las concentraciones menores que 5 % se omiten, y la distinción de los limos y las arcillas se hacen tomando en cuenta su comportamiento plástico, siguiendo los procedimientos para identificación en campo.

En el lado izquierdo del paréntesis se hace la distinción del grupo de constituyentes **DOMINANTES** del suelo: **C, G, b**. Esta posición ocupa el Grupo de componentes (Grueso o Fino) cuya suma de sus constituyentes supera el 50 %, es decir que la suma de los cantos, gravas y bloques, que son los constituyentes del Grupo de Componentes Gruesos, supera el 50 % de la masa del suelo, y de lo anteriormente expuesto se tiene que los cantos y las gravas, individualmente, representan más del 25 % de la masa del suelo, mientras que los bloques están en el rango 5 a 25%. A la derecha del paréntesis, delante del guión, está el Grupo de Constituyentes **SECUNDARIOS**, cuyos componentes de grupo representan menos del 50% y cuyas abreviaturas siguen el mismo concepto. Otro punto a tenerse en cuenta es que una letra, sea esta mayúscula o minúscula, que precede a otra, tiene mayor porcentaje en la composición del suelo. Así, en el ejemplo se deduce que los cantos son más que las gravas y las arenas más que los limos.

Resistencia Estimada del Suelo: ()^s. El superíndice en mayúscula al lado derecho del paréntesis que contiene las abreviaciones de los constituyentes del suelo bajo las consideraciones expuestas, indica la resistencia estimada del suelo. A este efecto es preciso, en primer término, hacer la distinción si el suelo en su conjunto tiene cohesión o no. Hecha la distinción, las opciones de abreviatura para el superíndice en cuestión son las siguientes:

SUELOS SIN COHESIÓN			SUELOS CON COHESIÓN		
Consistencia	Símbolo	Ang. fricción (°)	Resistencia	Símbolo	Cohesión (kPa)
Muy Suelto	M	< 10	Muy Blando	V	< 12
Suelto	S	10 - 20	Blando	W	12 - 25
Compacto	C	30	Firme	F	25 - 50
Denso	D	40	Duro	T	50 - 200
Muy Denso	H	> 50	Muy Duro	P	> 200

Los criterios para la identificación de la resistencia con procedimientos manuales están disponibles en la gran parte de los textos de mecánica de suelos.

Humedad en el suelo: ()_a. Para representar el contenido de agua en el suelo, se recurre al subíndice en minúscula al lado derecho del paréntesis que sintetiza la composición granulométrica del suelo, con las siguientes abreviaturas y significados:

d: Seco	w: Húmedo	m: Mojado	s: Saturado
----------------	------------------	------------------	--------------------

Espesor del Suelo: < 2.0 m. Al extremo derecho de la nomenclatura para caracterizar el suelo, se indica el espesor de la unidad, con el apoyo de los siguientes símbolos que preceden a la medida en metros. Cabe señalar que el valor que se proporciona debe tomarse como indicativo, puesto que la caracterización se hace a partir de observaciones de cortes puntuales y a la interpretación del ingeniero a cargo del mapeo.

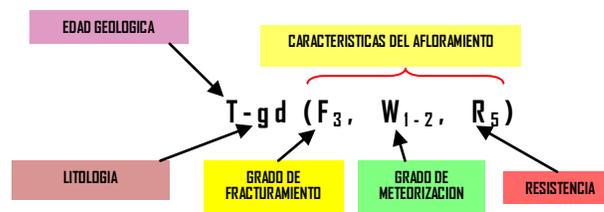
< Menor que > Mayor que = Espesor aproximado ~ Espesor inferido

Los criterios expuestos para la caracterización de unidades ingeniero geológicas de suelo conllevan a la siguiente lectura del ejemplo de la Figura 1: “*Depósito Aluvial del Cuaternario relacionado con procesos geodinámicos externos contemporáneos, conformado predominantemente por cantos y gravas y algunos bloques. De manera subordinada, matriz arena limosa. Suelto, seco. Espesor menor que 2 m*”.

Además de las características del suelo del ejemplo, el procedimiento es flexible para que el usuario añada otros elementos, como diámetro máximo de partículas, angulosidad de partículas, etc., siguiendo la lógica expuesta.

NOMENCLATURA Y SINTAXIS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE UNIDADES DE ROCA

La nomenclatura para los afloramientos de las unidades de roca, toma como base fundamentalmente los criterios para la caracterización de macizos de roca propuestos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM). Así por ejemplo:



Edad Geológica y Litología (T-gd), a la izquierda del acrónimo, la primera con una letra mayúscula y la segunda con dos minúsculas. La edad geológica es importante porque proporciona información sobre las deformaciones de la unidad vinculada a los eventos tectónicos, mientras que la designación del tipo litológico proviene exclusivamente de la identificación macroscópica. En la siguiente tabla se proporciona una lista de tipos litológicos básicos y abreviaturas sugeridas.

ROCAS IGNEAS		ROCAS SEDIMENTARIAS		ROCAS METAMORFICAS	
INTRUSIVAS	EXTRUSIVAS	CLASTICAS	QUÍMICAS	REGIONALES	OTRAS
Monzonita: mz	Latita: lt	Conglomerado: cg	Caliza: cz	Pizarra: pz	Cuarcita: qz
Granito: gr	Riolita: rl	Arenisca: ar	Dolomita: dl	Filita: fl	Marmol: mb
Granodiorita: gd	Dacita: dc	Limolita: lm	Chert: ch	Esquisto: sq	Hornfels: hf
Diorita: dt	Andesita: an	Arcillita o lutita: lu	Yeso: ys	Gneiss: gn	
Gabro: gb	Basalto: bs	Brecha sedimentaria: bs			
Peridotita: pd	Cinerita: cn				
	Toba: tb				
	Brecha volcánica: bv				
	Aglomerado: ag				

Las **Características del Afloramiento** van dentro del paréntesis, observando que el orden es: a la izquierda el **Grado de Fracturamiento (F)**, al centro el **Grado de Meteorización (W)** y a la derecha la **Resistencia (R)** estimada da la roca intacta, todas ellas separadas por comas. Para el fracturamiento se sugiere los rangos de Espaciamiento de Discontinuidades de la Clasificación RMR (Bieniawski Z. T. 1976, 1989) para facilitar su aplicación, y para las otras dos las que están normadas por la ISRM (1981). Es usual que al caracterizar un afloramiento se tenga que utilizar dos sub índices separados con un guión, puesto que es frecuente que las variaciones de una característica en particular se de en espacios cortos y frecuentes, que conllevan a integrarlos en una sola zona. Un la siguiente tabla se resume los criterios de caracterización ingeniero geológica de afloramientos:

FRACTURAMIENTO		METEORIZACION		RESISTENCIA	
GRADO	ESPACIAMIENTO (cm)	GRADO	CALIFICACION	GRADO	MPa ESTIMADO
F ₁	> 200	W ₁	Fresca	R ₀	< 1
F ₂	60 - 200	W ₂	Poco Meteorizada	R ₁	1 - 5
F ₃	20 - 60	W ₃	Moderadamente meteorizada	R ₂	10 - 25
F ₄	6 - 20	W ₄	Muy Meteorizado	R ₃	25 - 50
F ₅	< 6	W ₅	Extremadamente meteorizada	R ₄	50 - 100
		W ₆	Roca descompuesta	R ₅	100 - 250
				R ₆	> 250

En mapas ingeniero geológicos cuyo interés está enfocado a la caracterización geomecánica y cuya escala de trabajo lo permite, una misma unidad diferenciada bajo los criterios expuestos puede dar lugar a dos ó más sub unidades atendiendo a los sistemas de discontinuidades diferenciadas, tomando en cuenta el número de éstas considerando sus elementos de orientación. Para estos casos, delante del paréntesis añadir números romanos para indicar las sub zonas y el número de sistemas principales de discontinuidades que distinguen a la sub unidad, separados por una coma. Así por ejemplo, el siguiente acrónimo resulta con la siguiente lectura

T-gd (F₃, W₁₋₂, R₅) II, 2

“Sub unidad identificada como II, con dos sistemas principales de discontinuidades, en afloramiento de granodiorita del Terciario, con discontinuidades espaciadas entre 20 y 60 cm, entre fresca y poco meteorizada, resistencia estimada de la roca intacta entre 100 y 250 MPa”.

RELACIONES ESPACIALES ENTRE UNIDADES DIFERENCIADAS

Cuando se lleva a cabo relevamientos ingeniero geológicos, es frecuente encontrar que sobre la superficie del terreno hay áreas muy pequeñas de diferentes unidades como para ser representados en el mapa. Para estos casos la publicación de la Provincia de British Columbia, Canadá, tiene una excelente propuesta para este fin, y es con base a esta información que en la siguiente tabla se resume la organización de los símbolos que ilustran la manera en que se pueden expresar en un mapa las relaciones espaciales de las unidades ingeniero geológicas diferenciadas. De estas relaciones básicas se pueden derivar en otras más complejas, en caso la disposición de los unidades lo requieran.

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO	LECTURA DE LA UNIDAD MAPEADA
$\frac{A}{B}$	La unidad A cubre a la unidad B	$\frac{Q-co}{Q-mo}$	Depósito morrénico cubierto por coluvios
A/B	Las unidades A y B tienen exposición dispersas con igual área de incidencia.	Ti-gd / Q-co	Afloramientos de granodiorita terciaria y coluvios dispersos con incidencia similar
A//B	Unidad A y B con exposición dispersa, pero la unidad A (izquierda) tiene marcada predominancia de exposición en el terreno que la unidad B	Ti-gd // Q-mo	Afloramientos de granodiorita terciaria y depósitos morrénicos dispersos. Esta última con menor predominancia.
A//B/C	Las tres unidades con exposición dispersa, donde B y C tienen igual área de incidencia mientras el área de incidencia de A predomina sobre las de las otras dos.	Q-co ₂ //Q-tu / Ki-ar	Predominio de coluvios contemporáneos, y de manera subordinada turba y afloramientos de areniscas cretácicas dispersas con similar incidencia
$\frac{A/B}{C}$	Las unidades A y B, con exposición dispersa e igual área de incidencia cubren a la unidad C.	$\frac{Q-co/Q-mo}{Q-re}$	Coluvios y depósitos morrénicos dispersos que suman áreas similares, sobre suelo residual.
$\frac{A}{B/C}$	Unidades superpuestas	$\frac{Q-tu}{Q-mo}$ Ks-Cz	Turba sobre depósito morrénico, y este último sobre calizas del Cretáceo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los mapas ingeniero geológicos que se vienen elaborando para los proyectos no muestran información comprensiva de caracterización ingeniero geológica de las unidades diferenciadas.
- Los mapas ingeniero geológicos pueden ser enriquecidos con información concisa que permiten caracterizar geotécnicamente a las unidades de suelo y roca, así como mostrar relaciones espaciales entre ellas.
- Urge la elaboración de una guía para la elaboración de los mapas ingenieros geológicos que sean más elocuentes y de utilidad inmediata para los proyectos de ingeniería. En este documento se muestra apenas una parte de las posibilidades que hay en este sentido. La iniciativa debiera surgir de las universidades, las instituciones científicas o entidades gubernamentales.

BIBLIOGRAFÍA

- ASTM (American Society for Testing and Materials) D-2488 Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure), 2000
- Bieniawski Z. T. Rock Mass Classification in Rock Engineering. In Exploration for Rock Engineering, prog. of the symp. (e.d. Z. T. Bieniawski) 97-106 pp. Cape Town, Balkena 1976.
- ISRM (International Society of Rock Mechanics) 1981(a) Rock Characterization, Testing and Monitoring, ISRM suggested methods ed. E.T. Brown publ. Oxford. Pergamon Press, 1981
- Ministry of the Crown Lands, Province of British Columbia. Terrain Classifications System for British Columbia, Version 2, 1997.