

Evaluación geotécnica del Río Topo, Autopista Caracas - La Guaira, Venezuela

Geotechnical evaluation of the Topo River, Caracas - La Guaira Highway, Venezuela

Bongiorno, Francisco^{1*}; Monsalve, Zoila¹; Belandria, Norly¹ y Montilla, Ninfa²

¹Departamento de Geomecánica. Escuela de Geológica. Facultad de Ingeniería. ULA

Grupo de Investigaciones en Geología Aplicada

²Instituto Nacional de Geología y Minería. Región Los Andes.

Mérida, 5101-Venezuela.

*frabon@ula.ve

Recibido: 02-03-2009

Revisado: 12-12-2009

Resumen

En el presente trabajo se presenta un diagnóstico geotécnico y geomecánico de los macizos rocosos del río Topo, autopista Caracas – La Guaira, con el propósito de determinar las variables que influyen susceptiblemente en la inestabilidad de taludes y movimientos de masa. Se aplicaron las clasificaciones geomecánicas de macizos rocosos de Bieniawski, el Índice de Resistencia Geológica, GSI (Geological Strength Index) y el Criterio de Romana SMR (Slope Mass Rating), que permiten predecir el comportamiento de los materiales que conforman los taludes y laderas cuando son sometidos a condiciones antrópicas. De igual manera, el análisis de la estabilidad cinemática de estas laderas, permite inferir la condición de densidad, incidencia y susceptibilidad a los procesos de remoción en masa e inestabilidad de taludes.

Palabras clave: Bieniawski, talud, movimientos en masa, geotecnia, macizos rocosos.

Abstract

In this paper we present a geotechnical and geomechanical diagnosis of the rock massifs of the River Topo, Caracas - La Guaira highway, with the purpose of determining the variables that influence the instability of slopes and mass movements. We applied the Bieniawski geomechanical classification of rock masses, the Geological Strength Index, GSI (Geological Strength Index) and the Criterion Romana SMR (Slope Mass Rating), which allow the prediction of the behavior of the materials that form the slopes when they are subject of anthropic conditions. Similarly, the kinematic analysis of the stability of these slopes, allows inferring the density condition, incidence and susceptibility to processes of landslides and unstable slopes.

Key words: Bieniawski, slope, mass movements, geotechnics, rock massifs.

1 Introducción

Las características geotécnicas son de suma importancia en la evaluación de la susceptibilidad, debido a que constituyen factores condicionantes para la ocurrencia de movimientos en masa e inestabilidad de taludes. De igual manera, el análisis de la estabilidad cinemática de las laderas permite inferir la condición de densidad e incidencia de procesos de remoción en masa, lo cual constituye una herramienta de gran utilidad en

la planificación y ejecución de proyectos de desarrollo urbanístico.

En la década comprendida entre los años 1970 y 1980 se comienza a construir la mayoría de las autopistas en Venezuela como son la de Petare-Guarenas, Barquisimeto-Carora, entre otras. Estas herramientas utilizadas en el presente trabajo, fueron empleadas en el estudio previo a la construcción de las mismas y se puede notar que esas obras continúan prestando apoyo al desarrollo de la nación (García, 2008).

Este trabajo tiene como finalidad el estudio las características geotécnicas y geomecánicas de los macizos rocosos que se encuentran a lo largo de la Quebrada El Topo, aplicando técnicas directas para diagnosticar la calidad de la roca y los parámetros influyentes sobre el comportamiento del macizo cuando son sometidos a intervenciones antrópicas para la construcción de cualquier obra civil.

La caracterización de los macizos rocosos en campo es una labor necesaria en todo estudio geológico y geotécnico, porque implican el conocimiento de las propiedades y características geomecánicas de esos materiales (Ferrer y Vallejo, 2007). La Clasificación Geomecánica de Bieniawski, Hoek y Brown y Romana se adapta para este estudio y contribuye a dar soluciones al momento de analizar los materiales con fines geotécnicos (López, 2007).

Finalmente, el propósito del trabajo es caracterizar geomecánicamente el macizo rocoso en la zona de estudio, así como la vulnerabilidad, determinación y distinción de las diferentes condiciones geotécnicas para diagnosticar el posible patrón de inestabilización influyente, que pueda causar problemas en los taludes al momento de ser emplazados. Toda esta información constituye la base principal para establecer directrices fundamentales en el desarrollo de proyectos civiles.

2 Marco referencial

2.1 Clasificación geomecánica de Bieniawski

Esta clasificación geomecánica se basa en el índice RMR "Rock Mass Rating" (Torres, 2004), indicando una estimación de la calidad del macizo rocoso, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Resistencia compresiva de la roca. (Tabla 1).
- Índice de la calidad de la roca - RQD. (Tabla 1).
- Espaciamiento de las juntas. (Tabla 1).
- Condición de las juntas. (Tabla 1).
- Presencia de agua. (Tabla 1).
- Corrección por orientación. (Tabla 2).

Estos factores se cuantifican mediante una serie de parámetros definiéndose unos valores para cada uno de los mismos, cuya suma, en cada caso nos da el índice de Calidad del RMR que varía entre 0 – 100 (Tabla 3). Los objetivos de esta clasificación son determinar y/o estimar la calidad del macizo rocoso y sectorizar el macizo rocoso en grupos de conducta análoga.

2.2 Clasificación geomecánica SMR para taludes. Método de Romana

La clasificación SMR (Slope Mass Rating) es un método de determinación de los factores de ajuste adecuados para aplicar la clasificación RMR de Bieniawski a los taludes. Este índice se obtiene a través del índice RMR básico

(los primeros cinco parámetros) sumando un factor de ajuste, que es función de la orientación de las juntas y un "factor de excavación que depende del método utilizado. La ecuación para calcular el SMR es la ecuación (1). (Romana, 1992).

$$SMR = RMR + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4 \quad (1)$$

F_1 depende del paralelismo entre el rumbo de las juntas y de la cara del talud. Varía entre 1,00 (cuando ambos rumbos son paralelos) y 0,15 (cuando el ángulo entre ambos rumbos es mayor de 30° y la probabilidad de falla es muy baja). Estos valores, establecidos, se ajustan aproximadamente a la ecuación (2), siendo a_j y a_s los valores del buzamiento de la junta y del talud respectivamente.

$$F_1 = (1 - \sin a_j - a_s)^2 \quad (2)$$

F_2 depende del buzamiento de la junta en la falla plana. En cierto sentido es una medida de la probabilidad de la resistencia a esfuerzo cortante de la junta. Varía entre 1,00 (para juntas con buzamiento superior a 45°) y 0,15 (para juntas con buzamiento inferior a 20°). Fue establecido empíricamente pero puede ajustarse aproximadamente según la ecuación (3), donde b_j es el buzamiento de la junta. F_2 vale 1,00 para las fallas por vuelco.

$$F_2 = (\tan^2 b_j)^2 \quad (3)$$

Para fallas planas F_3 expresa la probabilidad de que las juntas afloren en el talud. Se supone que las condiciones son "normales" cuando el buzamiento medio de la familia de juntas es igual al del talud, y por lo tanto aflorarán algunas pocas juntas. Cuando el talud buza más que las juntas, casi todas afloran y las condiciones "serán muy desfavorables" lo que supone un valor de F_3 de -60 (para $b_s - b_j > 10^\circ$), o "desfavorables" lo que supone un valor de F_3 de -50 (para $0 < b_s - b_j < 10^\circ$). La diferencia con el valor de F_3 "normal" (que es -25) es muy grande.

El factor de ajuste según el método de excavación F_4 han sido establecidos empíricamente. Los taludes naturales son mas estables, a causa de los procesos previos de la erosión y por los mecanismos internos de protección, en este caso $F_4 = +4$. El precorte aumenta la estabilidad de los taludes en media clase, en este caso $F_4 = +10$. Las técnicas de voladura suave bien ejecutadas aumenta la estabilidad de los taludes, en este caso $F_4 = +8$. Las voladuras normales no modifican la estabilidad, en este caso $F_4 = 0$. Las voladuras defectuosas y pueden dañar la estabilidad del talud, en este caso $F_4 = -8$. La excavación mecánica, en la mayoría de los casos ni mejora ni empeora la estabilidad, en este caso $F_4 = 0$ (Romana, 1992). Al obtener el valor del SMR, de acuerdo a la ecuación (1), se ubica el mismo en la Tabla 4 sobre las clases de estabilidad, donde se indica la descripción del talud, el tipo de estabilidad, las roturas y el tipo de tratamiento que se debe aplicar al talud. Para utilizar el método de

Romana es necesario determinar el tipo de rotura que presenta el talud, si es por vuelco o por falla plana. Esta clasificación no tiene instrucciones específicas para las roturas en cuña. El procedimiento a seguir es obtener el índice SMR para cada una de las familias de las discontinuidades y se adoptara para el talud el valor menor del índice SMR para cada una de la familia de las discontinuidades. Paúl Marinos, profesor de Ingeniería.

Geológica de la Universidad Nacional Técnica de Atenas - Grecia, y Evert Hoek Ingeniero Consultor de Vancou-

ver, B.C. de Canadá, desarrollaron el GSI, índice de resistencia geológica, con la finalidad de estimar la resistencia del macizo rocoso. El sistema de clasificación GSI grandemente respeta las restricciones geológicas que ocurren en la naturaleza y están reflejadas en la información geológica.

Un debate relaciona los rangos del índice de resistencia geológica. (Strength Geological Index) para macizos rocosos típicos, enfatizando para macizos rocosos heterogéneos. (Ucar, 2004). En la Tabla 5 se muestra los valores para la determinación del GSI.

Tabla 1. Parámetros de clasificación geomecánica RMR. Bieniawski. (González de Vallejo, 2004)

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)		Ensayo de Carga Puntual	> 10	10-4	4-2	2-1	Compresión Simple (MPa)		
			Compresión Simple	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5	5 - 1	< 1
	Puntuación			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD			90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25 %		
	Puntuación			20	17	13	6	3		
3	Separación entre Diaclasas			≥2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2 m	≤ 0,06 m		
	Puntuación			20	15	10	8	5		
4	Estado de las Discontinuidades	Longitud de la Discontinuidad		< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m		
		Puntuación		6	4	2	1	0		
		Abertura		Nada	< 0,1 mm	0,1-1 mm	1-5 mm	> 5mm		
		Puntuación		6	5	3	1	0		
		Rugosidad		Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación		6	5	3	1	0		
		Relleno		Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Puntuación		6	4	2	2	0		
		Alteración		Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación		6	5	3	1	0		
5	Agua Feátrica	Caudal x 10 m de obra		Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min		
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor		0	0 - 0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Estado General		Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación		15	10	7	4	0		

Tabla 2. Parámetros de Clasificación geomecánica RMR. Bieniawski. (González de Vallejo, 2004)

6. Corrección por orientación de las discontinuidades.						
Dirección y Buzamiento		Muy favorable	Favorables	Medias	Desfavorable	Muy desfavorable
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60
7. Clasificación						
Clase		I	II	III	IV	V
Calidad		Muy Buena	Buena	Media	Mala	Muy Mala
Puntuación		100-81	80-61	60-41	40-21	<20
8. Orientación de las Discontinuidades en el eje de la Obra						
Dirección Perpendicular al Eje de la obra.				Dirección Paralela al eje de la obra		Buzamiento 0º-20º Cualquier Dirección
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento				
Buz., 45-90	Buz. 20-45	Buz., 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz.20-45	
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy Desfavorable	Media	Desfavorable

Tabla 3. Calidad de los macizos rocosos en relación al índice RMR. (González de Vallejo, 2004)

Calidad de Macizos Rocosos en relación al índice RMR				
Clase	Calidad	Valoración RMR	cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy buena	100 - 81	$> 4 \text{ kg/cm}^2$	$> 45^\circ$
II	Buena	80 - 61	$3 - 4 \text{ kg/cm}^2$	$35^\circ - 45^\circ$
III	Media	60 - 41	$2 - 3 \text{ kg/cm}^2$	$35^\circ - 45^\circ$
IV	Mala	41 - 20	$1 - 2 \text{ kg/cm}^2$	$35^\circ - 45^\circ$
V	Muy mala	< 20	$< 1 \text{ kg/cm}^2$	$< 15^\circ$

Tabla 4. Clases de estabilidad según SMR (Romana, 1992)

Clase Nº	V	IV	III	II	I
SMR	0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable
Fallas	Grandes roturas por planos continuos o por masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

Tabla 5. Índice de resistencia Geológica GSI. (Ucar, 2004)

ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA GSI (<i>geological strength index</i>) Basándose en el aspecto de la roca elegir la categoría que mejor describa las condiciones del macizo previo a la excavación. Tener en cuenta que las voladuras pueden crear una impresión falsa sobre la calidad del macizo rocoso, en cuyo caso será necesario realizar algún tipo de ajuste por daños debidos a voladuras; la observación de testigos de sondeos y de frentes de roca en zonas afectadas y no afectadas por voladuras puede ser de ayuda. Para la definición del grado de fracturación (<i>blockiness</i>) debe considerarse la relación entre el tamaño del bloque y la dimensión del frente de excavación.		CONDICIÓN DEL FRENTE				
ESTRUCTURA		MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con patinas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos arcillosos
	BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.	80	70			
	BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.		60	50		
	BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.			40	30	
	FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.				20	10

3 Ubicación del área de estudio e identificación de rocas

El área de estudio forma parte de la Cordillera de la Costa ubicada al norte de Venezuela, se encuentra comprendida entre las coordenadas: Norte 1.160.000-1.165.000 y Este 712.000-718.000, en el sistema Universal Transversal Mercator (UTM), la cual corresponden a la Quebrada El Topo, se encuentra cercana a la Autopista Caracas - La Guaira.

Se localizaron con GPS, 32 unidades o estaciones de trabajo que corresponden a taludes o laderas que conforman la Quebrada El Topo. Las rocas que conforman el área de estudio son:

- Terrígenos carbonáticos y volcano-sedimentarios, con intercalaciones de niveles de lavas básicas. La secuencia es metamorfozada (facies de los esquistos verdes).
- Secuencia de peridotitas serpentinizadas y gabro, cuya edad no debe ser más antigua que Jurásico tardío, seguida localmente de metabasaltos, con intercalaciones de mármoles silicificados.
- Metalavas masivas foliadas con un metamorfismo de alta presión y temperatura, del tipo de esquistos azules.
- Brechas de flujo y rocas volcanoclásticas, basáltico-andesíticas, con metamorfismo en la facies prehnitapumpellita.
- Asociación Metamórfica de La Costa, constituida por: esquistos Verde de Agua Viva, Mármol de Antimano, Peridotita Serpentinizada de La Bimba, Metaígneas de Cabo Codera, Complejo Nirgua, Esquisto de Tacagua, Metadiorita de Toadasana y Serpentinita (cuerpos dispersos sin nombre formal).
- Asociación Metasedimentaria Caracas compuesta por Esquisto de Chuspita, Esquisto de Las Mercedes, Esquisto de Las Brisas, Metaconglomerado de Baruta, Metaconglomerado de La Mariposa y Mármol de Zenda. Serpentinita constituida por pequeños cuerpos sin nombre formal. Gneis de Sebastopol y la Asociación Metamórfica Los Cristales, conformada por: Esquisto de Aroa y Esquisto de Mamey.

4 Análisis de resultados

Aplicando las los métodos de Bieniawski., GSI y el de Romana a los 12 puntos de control se obtuvieron los siguientes resultados:

- Macizos con calidad mala y muy mala: aplicando las tablas 1 y 2, se ubicaron 10 macizos rocosos que poseen valores de RMR (Rock Mass Rating, Tabla 3), los cuales arrojan resultados ubicados en el intervalo 41-20 y < 20, corresponden a la clase IV y V respectivamente. Así mismo, el GSI (Índice de Resistencia Geológica, tabla 5) para estos macizos en el área varía de 20 a 35, y las características principales de estos macizos son: cohesiones entre 1 y 2 Ton/m² y ángulos de fricción interna entre 15 y 25°, datos obtenidos en el laboratorio que generalmente se trata de macizos foliados y fuer-

temente diaclasados. Las condiciones en la cual se encuentran las superficies de las diaclasas son: superficies ligeramente rugosas o lisas, muy meteorizadas, aberturas superiores a los 5 mm y predominan rellenos muy blandos.

- Macizos con calidad media: tomando en cuenta las tablas 1 y 2 se caracterizó 1 macizo rocoso de RMR (Rock Mass Rating, Tabla 3), con rango que oscila entre 60-41, correspondiendo a un macizo de clase III, el valor del GSI (tabla 5) oscila entre 35 y 45. Para este macizo los la cohesión varía entre 2 y 3 Ton/m² y el ángulo de fricción interna puede encontrarse entre 25 y 35°. Se trata de un macizo foliado y diaclasado en los cuales las superficies se encuentran moderadamente meteorizadas, ligeramente rugosas, con aberturas inferiores a los 5 mm y pueden poseer rellenos duros.
- Macizos con calidad buena: solo se clasificó 1 macizo rocoso con la clasificación RMR con un rango entre 80 y 61, perteneciendo a macizos de clase II. El GSI varía entre 45 y 60, los valores de cohesión en este macizo se encontraron entre 3 y 4 Ton/m² y el del ángulo de fricción interna entre 35 y 45°, valores que se obtuvieron en el laboratorio. Este macizo se caracteriza por tener superficies rugosas, ligeramente meteorizadas, aberturas menores a 1 mm con rellenos duros, incluso las superficies pueden presentarse cerradas.

En el área predominan los macizos de calidad muy mala y mala, tratándose de esquistos pertenecientes a los esquistos de Las Brisas y Las Mercedes, mayoritariamente. Los macizos relacionados al Mármol de Antimano presentan calidad buena, al igual que algunos esquistos calcáreos de Las Mercedes y algunos esquistos de Las Brisas que afloran en la Quebrada El Topo. Estas rocas son muy susceptibles a las condiciones de intemperismo en el lugar, es por ello que se meteorizan con facilidad, arrojando como resultado los valores de RMR y GSI descritos.

Con el fin de corroborar los resultados obtenidos a través del método RMR y GSI, se aplicó el método de romana, de acuerdo a las ecuaciones (1), (2) y (3), y utilizando la tabla 4, se muestran los resultados en la tabla 6.

Como se puede notar los resultados obtenidos aplicando el método de Romana son muy similares a los obtenidos con el método de clasificación de Bieniawski.

Tabla 6. Índice de calidad SMR

Macizo	RMR	F1	F2	F3	F4	SMR	Clase	Calidad
M1	28	0,15	1	-60	8	27,00	IV	Mala
M2	27	0,7	0,4	-60	15	25,20	IV	Mala
M3	37	1	1	-50	15	2,00	V	Muy Mala
M4	26	1	0,7	-50	15	6,00	V	Mala
M5	49	0,85	1	-50	15	21,50	IV	Mala
M6	41	1	1	-50	15	6,00	V	Muy Mala
M7	29	0,85	0,85	-25	0	10,94	V	Muy Mala
M8	20	0,85	1	-6	0	14,90	V	Muy Mala
M9	52	0,7	1	-60	8	18,00	V	Muy Mala
M10	59	0,15	0,85	-50	0	52,63	III	Media
M11	76	0,7	0,7	-25	0	63,75	II	Buena
M12	29	1	1	-6	0	23,00	IV	Mala

De acuerdo a la clasificación de Romana para los macizos de calidad muy mala, se trata de laderas o taludes muy inestables con grandes roturas planares, recomendándose reexcavación como medida de estabilidad. Para las laderas o taludes de calidad mala se consideran inestables con posibilidad de falla plana y grandes cuñas, recomendándose como tratamiento corrección (ya sea con drenaje o concreto). Las laderas y taludes con macizos de calidad media se consideran parcialmente estables con fallas de algunas discontinuidades y muchas cuñas, se recomienda tratamiento sistemático. Por último, las laderas o taludes con macizos de calidad buena se consideran estables con algunas caídas de bloques aplicándose ocasionalmente tratamiento para la estabilidad.

4.1 Análisis de estabilidad cinemática

Para caracterizar cinemáticamente los macizos rocosos aplicando el método de Romana, fue necesario utilizar proyecciones estereográficas para identificar el tipo de rotura. La Fig. 1, muestra el análisis de estabilidad por cuña, donde se interceptan 2 superficies de discontinuidad, la dirección del movimiento de la cuña y la dirección de buzamiento del talud. El resultado al tener la proyección estereográfica de dicha figura, se observa que el talud es inestable debido a que la dirección del movimiento de la cuña es el mismo que del talud y aflora en la cara del talud.

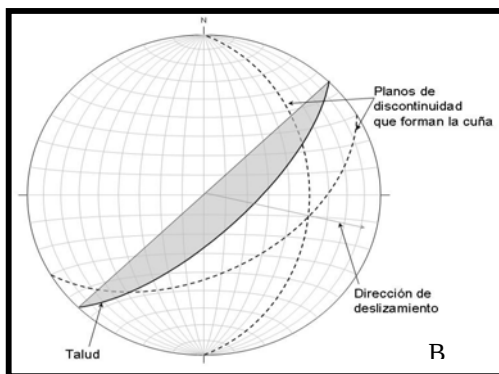


Fig. 1. Proyección estereográfica de inestabilidad del talud por cuña

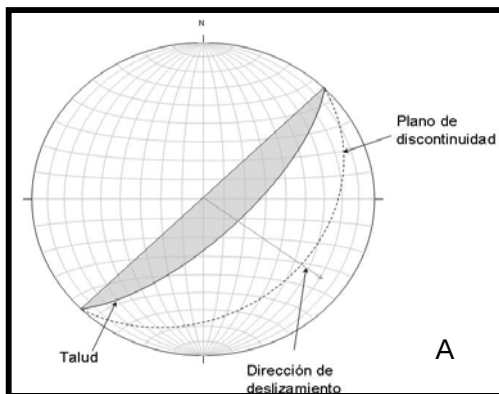


Fig. 2. Proyección estereográfica de inestabilidad del talud por rotura plana

La Fig. 2, muestra el análisis de estabilidad por rotura plana donde la dirección de buzamiento de la superficie plana es la misma que la dirección de buzamiento del talud.

El resultado al tener la proyección estereográfica de esta Fig., el talud se observa inestable debido a la dirección del movimiento de la rotura plana es la misma que la del talud.

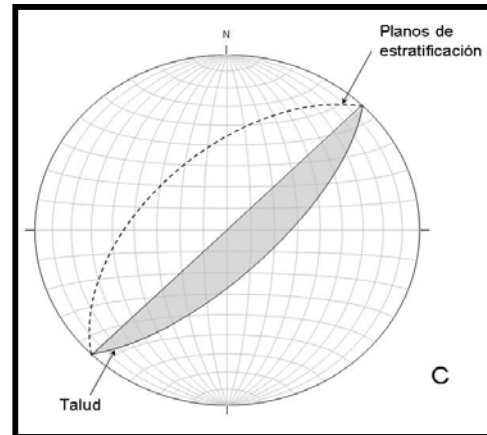


Fig. 3. Proyección estereográfica de inestabilidad del talud por volcamiento

La Fig. 3, muestra la proyección estereográfica por inestabilidad por volcamiento. Muy pocos macizos rocosos presentaron este tipo inestabilidad, debido a que los planos de estratificación son escasos en la zona de estudio, ya que la mayoría de las rocas son Metamórficas.

A cada uno de los macizos rocosos, que presentaban superficies discontinuas se le aplicó análisis cinemático de estabilidad por proyecciones estereográficas y la Fig. 4 muestra los resultados obtenidos. Los macizos rocosos en la Quebrada El Topo muestran inestabilidad desde el punto de vista cinemático por cuña con un 75%. Asimismo, le sigue la inestabilidad planar con un 24% y por último, la inestabilidad por vuelco 1%, es por ello que la rotura por cuña representa la primera causa de inestabilidad cinemática en el área de estudio.

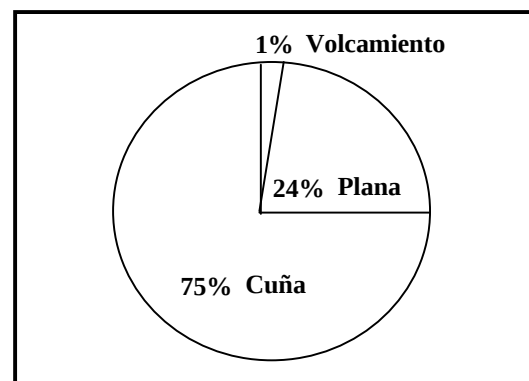


Fig. 4. Resultados de la estabilidad cinemática de la quebrada el topo

5 Conclusiones

Las rocas que se encuentran en el área de estudio, presentan metamorfismo relacionados a las facies de los esquistos verdes y facies de las anfibolitas. El grado metamórfico de las rocas de las unidades litodémicas aflorantes, presenta condiciones variables de presiones y temperaturas, entre grado bajo a alto.

En cuanto al análisis de las condiciones geotécnicas, relacionadas a la calidad de los macizos rocosos del área de estudio, según las clasificaciones geomecánicas aplicadas (Bieniawski y según el índice de resistencia geológica), es posible caracterizar los macizos del área como de calidad mala y muy mala, predominando los macizos de calidad muy mala, debido a que son rocas pertenecientes a los esquistos de Las Brisas y Las Mercedes, generalmente. Los macizos que presenta la mejor calidad en el área están relacionados al Mármol de Antímano. Es importante resaltar que los métodos de RMR, GSI y método de Romana, concordaron en los resultados obtenidos para este estudio.

Del análisis de estabilidad cinemática de las laderas y taludes, producto de la interacción de las características litológicas y la disposición geométrica de las discontinuidades con respecto al plano de la ladera o talud, se demuestra un dominio de casos de falla en cuña con un 75%, para las laderas que presentaron inestabilidad cinemática.

La inclusión de la geología y las unidades litológicas superficiales, como factores intrínsecos, para la determinación de la susceptibilidad ante movimientos en masa es fundamental, debido a que estos factores tienen incidencia directa en la ocurrencia de movimientos en masa. La geología determina tanto el carácter litológico, el cual define el tipo de material, como la dinámica del lugar, en términos tectó-

nicos, que define la cinemática de los planos estructurales, lo cual constituye un factor desencadenante para la ocurrencia de movimientos en masa. Por otra parte, las unidades litológicas superficiales, aportan el estado físico de los materiales a nivel de superficie con lo cual se definen características geomecánicas de los materiales, así como propiedades que permiten inferir la resistencia que ofrecen los materiales a ser afectados por procesos de erosión y meteorización cuando son sometidos a condiciones de intemperismo.

Referencias

- Ferrer M, y Vallejo L, 2007, Manual de campo para la descripción y caracterización de los macizos rocosos en afloramientos, Instituto Geológico y Minero de Madrid, Editorial Graficas Chile, España.
- García R, 2008, 50 Conferencia Aniversario de la Sociedad Venezolana de Geotecnia, Editorial Torino, pp. 325-345.
- González de Vallejo, 2002, Ingeniería Geológica, Editorial Prectice Hall, España.
- López C, 2007, Ingeniería del Terreno, U.D. Proyectos E.T.S.I. Minas, Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Romana M, 1992, Métodos de corrección de taludes según la Clasificación Geomecánica SMR, III Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, La Curuña, España.
- Torres L, 2004, Determinación de las propiedades físico-mecánicas de las rocas y monitoreo de la masa rocosa. <http://www.unasam.edu.pe/facultades/minas/trabajos.php>. Consulta: 01 Mayo 2008.
- Ucar R, 2004, Manual de Anclajes en Ingeniería Civil, U.D. Proyectos E.T.S.I. Minas, Universidad Politécnica de Madrid, España.

