



# Caracterización geomecánica de los taludes de la autovía RP N° 20, municipio de El Volcán, provincia de San Luis

## Geomechanical characterization of the slopes of provincial route 20, municipality of El Volcan, province of San Luis

Denaro, Juan F. ✉ - Sales, Daniel A. <sup>1</sup>

Recibido: 26 de octubre de 2020 • Aceptado: 05 de octubre de 2021

### Resumen

*En este trabajo se analizan las condiciones geomecánicas de los taludes de precorte desarrollados en las márgenes de la autovía de la ruta Prov. N° 20, desde las inmediaciones del embalse Cruz de Piedra (Juana Koslay) hasta la localidad de El Volcán, en el extremo sur de la sierra de San Luis.*

*El macizo rocoso se encuentra afectado principalmente por un sistema de fallas extensionales con dirección predominante NO-SE y alto ángulo de inclinación al NE, que dieron origen a la depresión tectónica de Las Chacras-Cruz de Piedra en la zona de estudio.*

*La disposición de la traza vial respecto a la estructura principal, generan problemas de inestabilidad en los taludes a partir de roturas planar y en cuña, provocando deslizamientos traslacionales y caída de bloques a la calzada vial.*

*En los taludes más inestables, se realizó el análisis de estabilidad a partir de las condiciones geomecánicas del macizo y geométricas del corte.*

*Los resultados obtenidos indican que los taludes con mayor amenaza de inestabilidad, presentan índice RMR con calidad "muy mala" (clase V) a "media" (clase III), índice SMR con calidad "mala" (clase IV) a "normal" (clase III), e índice GSI "BII/B-M".*

*En el análisis de estabilidad presentan FS "bajo" (0.3 a 0.8).*

*Palabras claves: geomecánico - macizo rocoso - taludes - análisis de estabilidad.*

### Abstract

*In this paper, the geomechanical conditions of the precut slopes developed on the margins of the provincial route 20, from the environs of the Cruz de Piedra reservoir (Juana*

1. Departamento de Geología, Universidad Nacional de San Luis, Ejército de los Andes 950, 5700, San Luis.

✉ jfdenaro@gmail.com, sales@unsl.edu.ar

*Koslay) to the town of El Volcán, on the extreme south of the Sierra de San Luis are analyzed.*

*The rock mass is affected by a system of extensional faults with a predominant NW-SE direction and a high angle of inclination to the NE, which gave origin to the Las Chacras - Cruz de Piedra tectonic depression in the study area.*

*The disposition of the road in relation to the main structure generates instability problems in the slopes from wedge and planar breaks, with the development of translational landslides and blocks falls.*

*The results obtained indicate that the slopes with the greatest threat of instability have an RMR index with "very bad" quality (class V) to "medium" (class III), SMR index with "bad" quality (class IV) and "normal" (class III), and GSI index "BI/B-M".*

*In the stability analysis they present "low" FS (0.3 - 0.8).*

**Keywords:** *geomechanical - rock mass - slopes - stability analysis - risk.*

## INTRODUCCIÓN

El área de estudio involucra al tramo de la autovía de la ruta provincial N° 20 (RPN°20), desde las inmediaciones del barrio Cerros Colorados (Juana Koslay) (coordenadas 33°15'05" S - 66°13'22" O) hasta la localidad turística de El Volcán, en el municipio homónimo (coordenadas 33°15'10" S - 66°11'00" O), con una extensión aproximada de 5,5 km, en el extremo sur de la sierra de San Luis (Figura 1).

La ampliación de la antigua traza vial en el año 2006 para convertirla en autovía, produjo un cambio en la geometría de los taludes existentes, el desarrollo de otros y la modificación en las tensiones naturales del terreno, dando como resultados fenómenos de remoción en masa (caída de rocas y deslizamientos). Este trabajo busca reflejar las condiciones geológicas y geotécnicas de los taludes de precorte, que no se tuvieron en cuenta en la

etapa constructiva de la autovía, a fin de conocer la respuesta del macizo ante la acción antrópica. Para conocer estas condiciones de los cortes, se seleccionaron los taludes más representativos con problemas de inestabilidad, a fin de evaluar los parámetros cuantitativos de las discontinuidades junto a su matriz rocosa, y determinar las condiciones geotécnicas del mismo, a través del análisis de estabilidad para los diferentes tipos de roturas del macizo.

La geología del tramo de la zona de estudio está conformada por un basamento ígneo-metamórfico (Figura 2). Las rocas graníticas pertenecen al plutón El Volcán de edad Devónica (Morosini, 2011), con una foliación predominante NNE-SSO y buzamiento hacia el ESE, integrada por facies sienograníticas y monzodioríticas, las cuales están intruidas por diversos diques aplo-pegmatíticos. Las rocas metamórficas afloran en el extremo



Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio (imagen modificada de Google Earth).

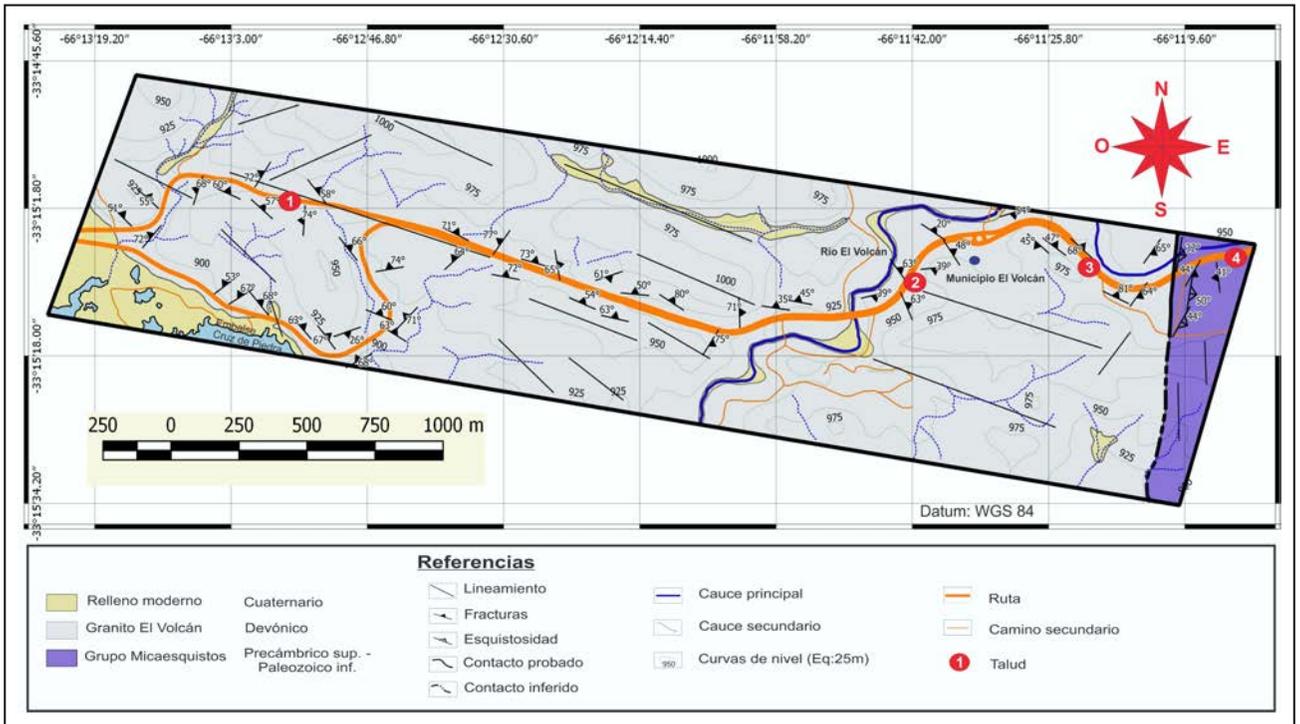


Figura 2. Mapa geológico y estructural del área de estudio.

oriental del área de trabajo, representadas por esquistos del Grupo Micaesquistos (von Gosen y Prozzi, 1998) que alternan con bancos de cuarcitas de edad Precámbrico - Paleozoico inferior.

Los rasgos morfoestructurales de esta zona, se relacionan con la formación de hemigrabenes que dieron lugar a las depresiones tectónicas de Potrero de los Funes y Las Chacras-Cruz de Piedra (Costa, 1992; Costa y Cortés, 1993), mediante estructuras extensionales con dirección NO-SE e inclinación al NE, que interactúan con otras estructuras de la deformación frágil del basamento ígneo-metamórfico. La Figura 3, muestra la imposición de estas estructuras en una población de 416 planos de discontinuidades analizados en los diez (10) taludes de precorte seleccionados, de un total de veintiocho (28) existentes en la zona de estudio. Se consideró en la selección de los taludes para el

desarrollo de esta contribución, su condición de mayor inestabilidad en los cortes y la orientación de los mismos.

Diferentes contribuciones relacionadas con estudios geomecánicos se llevaron a cabo en el ámbito de las depresiones tectónicas mencionadas (Sales et al., 2001; Farioli y Sales, 2018; Denaro y Sales, 2018a; Gómez y Sales, 2018a).

**MARCO METODOLÓGICO**

Para el análisis geomecánico de los taludes, se midieron los planos de la deformación frágil del macizo rocoso, en base al método sugerido para la descripción cuantitativa de discontinuidades desarrollado por la *International Society for Rock Mechanics (ISRM, 1981)*, que fueron analizados estadísticamente a través del programa Excel. Los sitios de análisis se fueron determinando en un segmento de 5 m cada 50 m de separación promedio. Se consideraron aquellos tramos donde habían cambios de litología, zonas de cizalla frágil o de la dirección de la traza vial.

La resistencia de la matriz rocosa fue estimada a través del martillo de Schmidt, que consiste en obtener el número de rebote de las diferentes discontinuidades en afloramiento y vincularlo con ayuda de ábaco a la resistencia a la compresión simple. Para tal motivo, se estimó la densidad promedio de las rocas en 25 kN/m<sup>3</sup>.

La calidad de la roca se calculó a partir del Índice RQD (Rock Quality Designation Index) de Deere (1963), que es estimado en afloramiento a partir de la expresión empírica de Palmstrom (1975), donde se considera el total de discontinuidades por metro cúbico (Jv) según la ecuación 1.

$$RQD = 115 - 3.3 Jv \quad (\text{ecuación 1})$$

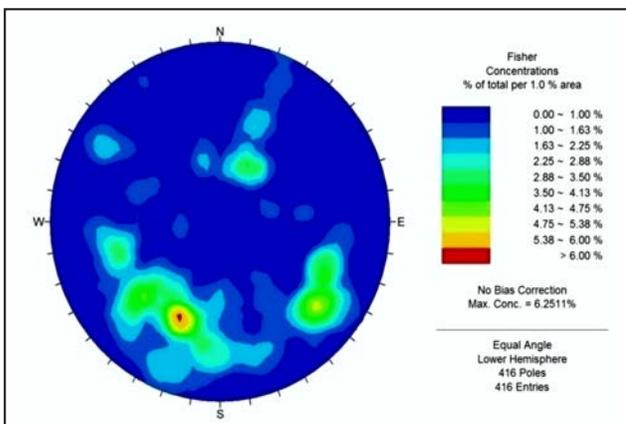


Figura 3. Diagrama de frecuencia de polos de la totalidad de las discontinuidades (N= 416) analizadas en la traza vial en diez (10) taludes seleccionados

Para la clasificación geomecánica de taludes, se utilizaron para el cálculo de la calidad del macizo rocoso los índices: RMR (Rock Mass Rating) de *Bieniawski (1979)* y SMR (Slope Mass Rating) de *Romana (1997)*. También se determinó el índice GSI (Geological Strength Index) de *Hoek y Brown (1997)*, con la finalidad de conocer las características generales de los afloramientos.

El índice RMR, se determina mediante la suma de los siguientes parámetros: resistencia a la roca inalterada (R1), índice RQD (R2), espaciamiento de las discontinuidades (R3), estado de las discontinuidades (R4), condición del agua (R5). A su vez, el valor obtenido se corrige con la orientación (R6), dispuesta entre la cara libre del talud y la discontinuidad que presenta problemas de inestabilidad.

En la determinación del índice SMR se empleó la ecuación 2.

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4 \quad (\text{ecuación 2})$$

Donde, el RMR utilizado en la ecuación 2 por *Romana (1997)*, corresponde al índice sin corrección por orientación. Los valores de F1, F2 y F3 representan factores de ajuste en función de la relación entre las orientaciones de las discontinuidades y la cara libre del talud. El factor F4 resulta del método de excavación desarrollado.

Respecto al índice GSI, éste se define en terreno a partir de la relación entre las estructuras del macizo y las condiciones de éstas en su frente. La estructura se clasifica en: bloques regulares (BR), bloques irregulares (BI), bloques y capas (BC) y fracturación intensa (FI). Las condiciones del frente se clasifica en: muy buena (MB), buena (B), media (M), pobre (P) y muy pobre (MP).

Para el análisis de estabilidad de los taludes seleccionados, se tuvo en cuenta la geometría (H: altura máxima y  $\alpha$ : ángulo máximo de inclinación), la densidad promedio de las rocas y las condiciones geomecánicas del macizo. Se definieron además, los parámetros resistentes del macizo, considerando los valores de cohesión (c) y ángulo de rozamiento interno (j) estimado según el índice RMR sin corrección por orientación.

Los procesos de remoción en masa mencionado en este trabajo, corresponde a la clasificación de *Varnes (1984)*.

En la determinación del factor de seguridad (FS) para rotura planar y rotura en cuña, se utilizó el software *Rocscience (2013)*, en condiciones de un macizo con humedad y sin cargas externas.

En el cálculo del FS para rotura por vuelco, se llevó a cabo a partir del análisis de la proyección estereográfica de polos y planos según el programa *Dips (Rocscience Ind, 2013)*.

## ANÁLISIS GEOMECÁNICO

Se analizaron los parámetros cuantitativos mediante el método sugerido por *ISRM (1981)*, para 416 discontinuidades analizadas, distribuidas en diez (10) taludes de precorte seleccionados.

Los taludes presentan en su mayoría cara libre con ángulo de inclinación moderado a alto (60° y 90°), alturas relativamente bajas (2 a 14m) y longitudes variables (40 a 137m).

La Figura 4, muestra el predominio de estos parámetros cuantitativos en las diferentes familias de discontinuidades analizadas, donde se destacan espaciamiento entre 20-60cm (51,39%), continuidades menores al metro (62,83%), aberturas entre

1-5 milímetros (53,63%), con superficies con rugosidad media (42,37%).

El macizo granítico del área de estudio no presenta filtraciones en la mayoría de las discontinuidades (95,23%), generalmente sin relleno en el 74,49% de los planos descriptos. Los pocos casos observados de filtración y relleno, corresponden a los afloramientos metamórficos.

La respuesta del macizo al rebote del martillo de Schmidt, el 64,86% de la población analizada (N=416) corresponden a rocas muy duras. El grado de meteorización en los taludes graníticos es baja y alta en los afloramientos metamórficos.

Respecto a los valores del índice RQD estimado para afloramientos (*Palmstrom, 1975*) y según la clasificación de *Deere (1963)*, en el 43,81% de los taludes graníticos tienen calidad de roca "regular" (RQD: 50-75 %) y en los taludes metamórficos, la calidad de la roca varía de "muy mala a mala" (RQD < 50%).

A partir de las características geomecánicas de los afloramientos y de la relación existente entre la orientación del talud y las discontinuidades que generan mayor inestabilidad, se estimó la calidad del macizo rocoso utilizando las clasificaciones geomecánicas anteriormente citadas.

Para la clasificación geomecánica de los taludes de precorte, solo se describieron las condiciones de cuatro (4) taludes seleccionados y que representan las condiciones de menor grado de estabilidad del total analizado. Los taludes N° 1, 2 y 3 se desarrollan en rocas graníticas, mientras que el talud N° 4 en rocas metamórficas (Figura 2). Las principales características geomecánicas de los taludes se describen en la Tabla 1.

El talud N°1 se localiza en rocas graníticas en el sector conocido como Cuesta del Gato. En este tramo, la autovía deja de tener doble sentido y solo se transita por la antigua traza de la ruta, desde la localidad de El Volcán hacia la localidad de Juana Koslay (Figuras 1 y 2).

Este sector representa el sitio de mayor amenaza por procesos de remoción en masa, a lo largo de 150 m de longitud aproximada, carente de banquina a ambos lados de la traza vial.

Los planos del sistema de fallas extensionales sobre la margen sur del camino, buzan a favor de la pendiente (Figura 5). El macizo presenta problemas de inestabilidad por roturas del tipo planar y cuña, generando procesos de remoción a través de deslizamientos traslacionales. Esto ocurre principalmente en épocas de lluvias torrenciales de corta duración. Sobre la margen norte del camino, los planos de fallas normales presentan rotura por vuelco en el talud opuesto, que en raras ocasiones presenta caída de material por volcamiento de bloques.

En la determinación de la calidad del macizo rocoso para taludes, se estima una calidad "muy mala" (índice RMR con corrección por orientación) y "mala" (índice SMR) (Tabla 2). El afloramiento según el índice GSI, se clasifica "bloques irregulares con una condición del frente buena" (BI/B) (Tabla 2).

El talud N°2 se desarrolla en rocas graníticas en la margen norte de la autovía, en cercanía de la localidad de El Volcán (Figura 2). El macizo presenta una intensa fracturación afectado por cizalla frágil, generando roturas del tipo planar y en cuña (Figura 6).

En la determinación de la calidad del macizo rocoso para taludes, presenta calidad "muy mala" (índice RMR con corrección) y "mala" (índice SMR) (Tabla 3). El afloramiento según el índice GSI, se clasifica "bloques irregulares con una condición del frente buena" (BI/B) (Tabla 3).

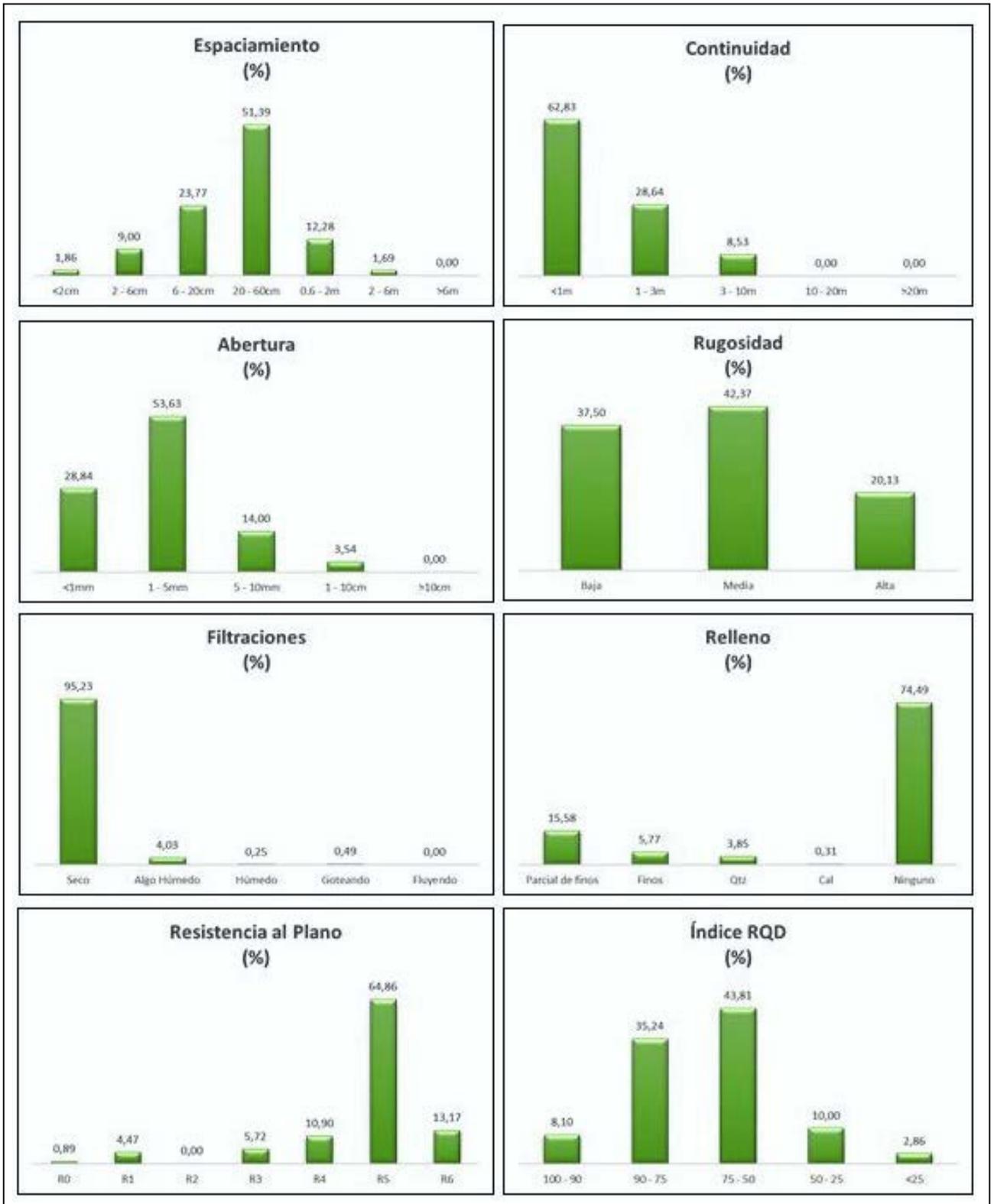


Figura 4. Representación estadísticas de los parámetros cuantitativos de las discontinuidades analizadas (N= 416) en 10 taludes representativos

**Tabla 1. Síntesis de los parámetros cuantitativos de las discontinuidades de cuatro taludes seleccionados.**

SECTOR: Autovía RPN°20	Tramo: B° Cerros Colorados (J.Koslay) – El Volcán  Coordenadas de inicio: 33°15'05" Lat S. y 66°13'22" Long. O Coordenadas de final: 33°15'10" Lat S. y 66°11'00" Long. O			
Matriz rocosa	Granítica (Taludes N° 1, 2 y 3) y esquistos (Talud N° 4)			
<b>CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS</b>				
TALUD N°	1	2	3	4
Orientación (Dbz/bz)	33°/59° 214°/36° 273°/71° 304°/71°	68°/65° 174°/37° 285°/62°	31°/56° 204°/43° 329°/72° 127°/64°	110°/45° 203°/84° 263°/42° 295°/65°
Espaciamiento	20-60cm			2-6cm
Persistencia	< 1m			
Rugosidad	Baja	Baja	Media	Baja
Abertura	1-5mm	5-10mm	1-5mm	1-5mm
Humedad	no			
Relleno / Sellamiento	no			
Resistencia al plano (Mpa)	132	110	95	48
Índice RQD (%)	75 - 90	50 - 75	50 - 75	25 - 50
Grado de alteración	baja			alta
Disgregación mecánica	baja			alta
Tamaño de bloques	< 1 m <sup>3</sup>			

El talud N°3 se encuentra en la terminación oriental de los afloramientos graníticos. Se expone en la margen norte de la autovía en la zona urbana de la localidad de El Volcán (Figura 2). El macizo está afectado parcialmente por cizalla frágil. En la relación entre la orientación del talud y las estructuras, se generaron roturas del tipo planar, en cuña y vuelco (Figura 7).

La calidad estimada del macizo rocoso para taludes, es “media” (índice RMR con corrección) y “mala” (índice SMR) (Tabla 4). El afloramiento según el índice GSI, se clasifica como “bloques irregulares con una condición del frente mala” (BI/M) (Tabla 4).

Por último, el talud N°4 se desarrolla sobre la margen sur de la autovía sentido al noreste, en el ámbito urbano de la localidad de El Volcán, sobre rocas metamórficas (esquistos) acompañadas de inyecciones pegmatíticas (Figura 2).

El sector se encuentra afectado parcialmente por cizalla frágil, con un aumento del grado de fracturación. Predominan en el macizo rocoso roturas en cuña (Figura 8).

La calidad del macizo rocoso para taludes es “media” (índice RMR con corrección) y “normal” (índice SMR) (Tabla 5). El afloramiento según el índice GSI, se clasifica como “bloques irregulares con una condición del frente mala” (BI/M) (Tabla 5).

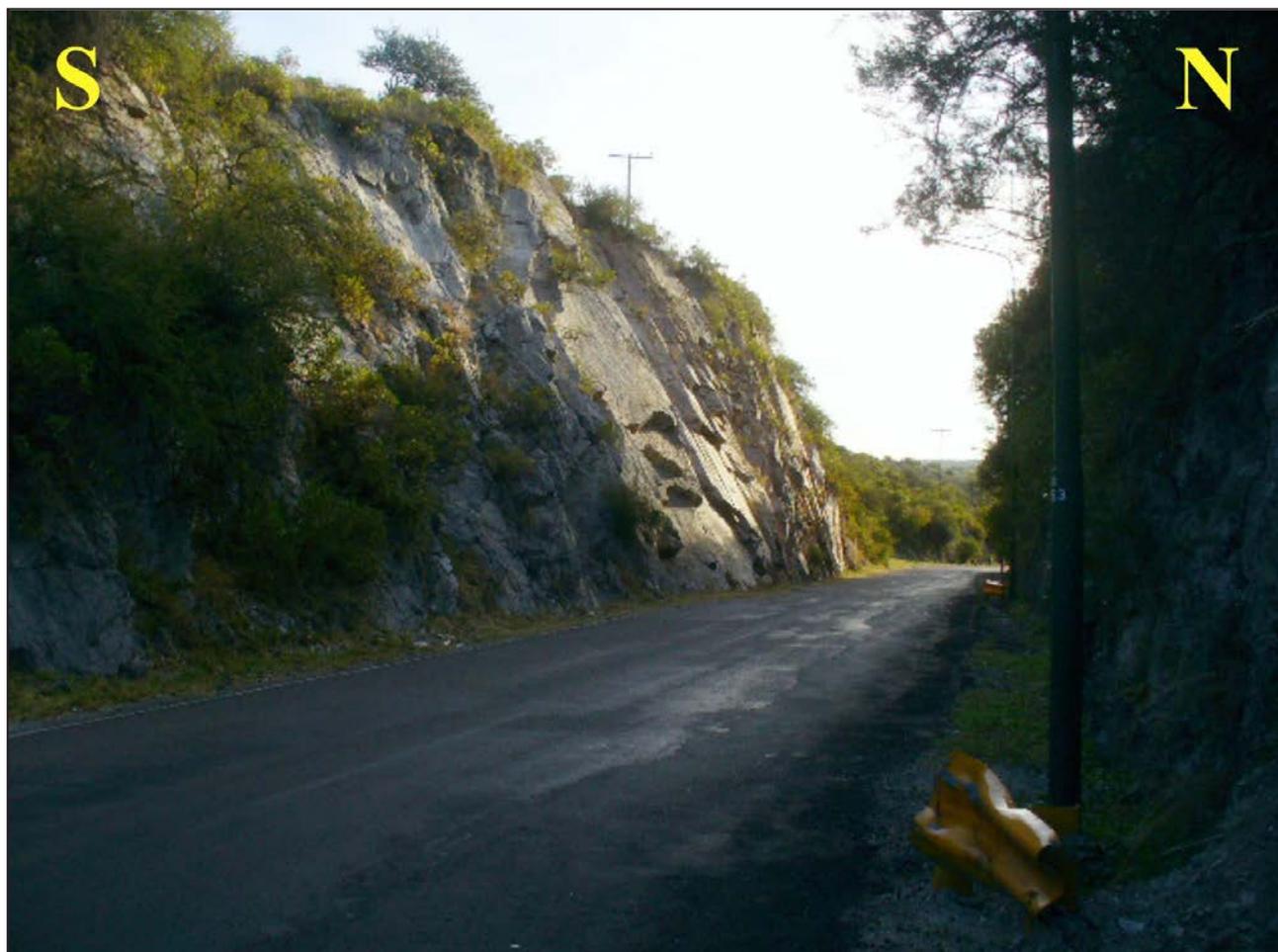


Figura 5. Vista al oeste del talud N° 1, con un corte subvertical y roturas del tipo planar.

Tabla 2. Resultados de la calidad del macizo rocoso en el talud N° 1, según las diferentes clasificaciones geomecánicas utilizadas

Talud N° 1							
Longitud	Altura				Dirección		Inclinación
126 m	8 a 10 m				290°		65° - 70° NE
ÍNDICE	RMR				SMR		GSI
	Básico		Corregido				
Parámetros y valores	R1	12	R1	12	F1	0.7	
	R2	17	R2	17	F2	1	
	R3	10	R3	10	F3	-60	
	R4	15	R4	15	F4	8	
	R5	15	R5	15			
				R6	-50		
Total	6*		19		35		45 - 65
Clasificación	Buena		Muy Mala		Mala		BI/B
Clase	II		V		IV		



Figura 6. Vista panorámica al sudoeste de un sector del talud N° 2, afectado por cizalla frágil, que disgrega mecánicamente al granito

Tabla 3. Resultados de la calidad geomecánica del macizo rocoso en el talud N° 2.

Talud N° 2							
Longitud	Altura				Dirección		Inclinación
82 m	6 a 8 m				31°		75° - 80° NO
ÍNDICE	RMR				SMR		GSI
	Básico		Corregido				
Parámetros y valores	R1	12	R1	12	F1	0.7	
	R2	13	R2	13	F2	1	
	R3	10	R3	10	F3	-60	
	R4	15	R4	15	F4	0	
	R5	15	R5	15			
				R6	-50		
Total	65		15		23		50 - 60
Clasificación	Buena		Muy Mala		Mala		BI/B
Clase	II		V		IV		



Figura 7. Vista panorámica al sudoeste de un sector del talud N° 3, donde el granito es afectado en un sector por cizalla frágil (entre líneas de color amarillo)

Tabla 4. Resultados de las clasificaciones geomecánicas utilizadas en la determinación de la calidad del macizo rocoso en el talud N° 3.

Talud N° 3							
Longitud	Altura				Dirección		Inclinación
110 m	6 a 10 m				140°		65° - 70° NE
ÍNDICE	RMR				SMR		GSI
Parámetros y valores	Básico		Corregido		F1	0.7	
	R1	7	R1	7			
	R2	13	R2	13	F2	1	
	R3	10	R3	10	F3	-60	
	R4	19	R4	19	F4	8	
			R5	15			
		R6	-40				
Total	64		24		34.6		40 - 50
Clasificación	Buena		Muy Mala		Mala		BI/B
Clase	II		V		IV		



Figura 8. Vista panorámica al sudeste de un sector del talud N° 4.

Tabla 5. Resultados de la calidad del macizo rocoso en el talud N° 4, a partir de las clasificaciones geomecánicas RMR, SMR y GSI.

Talud N° 4							
Longitud	Altura				Dirección		Inclinación
77 m	4 a 6 m				75 a 85°		80° - 85° NE
ÍNDICE	RMR				SMR		GSI
Parámetros y valores	Básico		Corregido				
	R1	4	R1	4	F1	0.15	
	R2	6	R2	6	F2	1	
	R3	5	R3	5	F3	-25	
	R4	18	R4	18	F4	0	
	R5	15	R5	15			
		R6	-5				
Total	48		43		44		40 - 45
Clasificación	Media		Media		Normal		BI/B
Clase	III		III		III		

**ANÁLISIS DE ESTABILIDAD**

El análisis de estabilidad se llevó a cabo en los cuatro taludes seleccionados, se utilizaron los parámetros resistentes del macizo (cohesión “c” y ángulo de rozamiento interno “Φ”) obtenidos a partir de la clase de calidad del macizo, según lo propuesto por *Bieniawski (1979)* y que se describe en la Tabla 6.

**Tabla 6. Parámetros resistentes obtenidos a partir del índice RMR según Bieniawski (1979).**

Talud N°	Índice RMR (sin corregir)	c (t/m <sup>2</sup> )	Φ (°)
1	Buena (II)	0.1	37
2	Media (III)	0.05	26
3	Buena (II)	0.05	34
4	Buena (II)	0.05 - 0.3	35 - 37

En los taludes se identificaron diferentes sets de discontinuidades que afectan al macizo por rotura planar, en cuña y vuelco, en función de la disposición existente entre la orientación del talud y de las discontinuidades presentes (Figura 9), desarrollando la inestabilidad del corte del macizo por deslizamientos planares y en cuña.

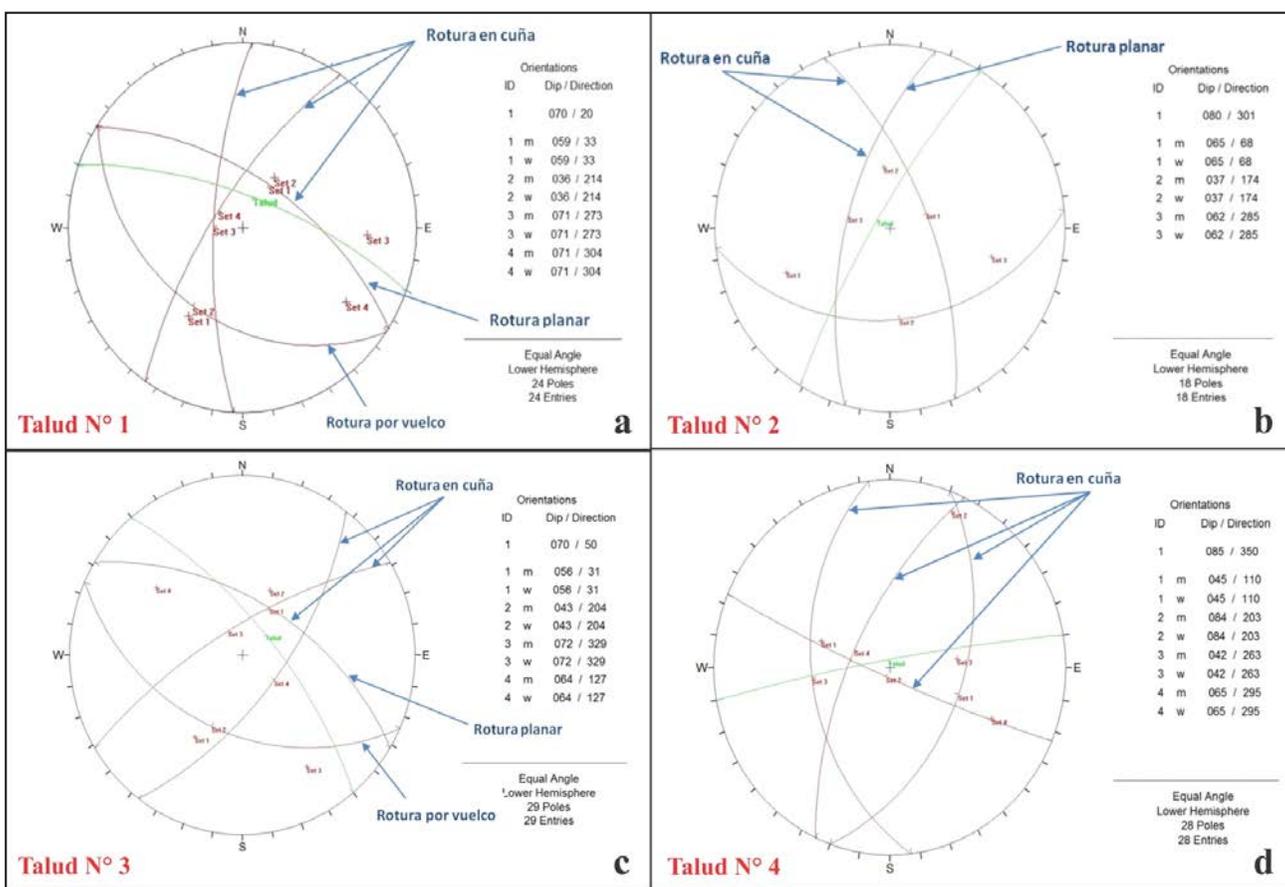
Se utilizó para el análisis de estabilidad el programa *Rocscience (2013)* para roturas planas y en cuñas. Los resultados obtenidos del FS son analizados en particular aquellos con condiciones de inestabilidad (FS<1).

En el talud N° 1, la inestabilidad está generada principalmente por planos que desarrollan rotura planar (FS = 0.5), los que imponen una amenaza latente de deslizamientos traslacionales del tipo planar (Figura 10a). En menor proporción, se reconocieron set de discontinuidades que forman rotura en cuña (FS= 0.82) (Figura 10b).

En el talud N° 2, los planos de discontinuidad desarrollan inestabilidad del talud por rotura planar (FS= 0.30) (Figura 10c). En este sector, es común describir el desprendimiento de bloques del granito por caída de rocas, inicialmente del tipo planar.

El sector del talud N° 3, la inestabilidad la generan set de fracturas por rotura en cuña con un FS=0.55 (Figura 10d) y rotura planar a través de un FS= 0.47 (Figura 10e). Aunque el movimiento está condicionado a traslacional, por el grado de disgregación mecánica del macizo, se destaca los desprendimientos de bloques pequeños acumulados sobre la base del talud.

Por último, la estabilidad del talud N° 4, está condicionado por pocos sets de fracturas en cuña, a partir de la interacción de fracturas frágiles con la estructura penetrativa de la roca metamórfica con una orientación de sus planos transversalmente a la cara libre del talud (FS= 0.48) (Figura 10f).



**Figura 9. Proyección estereográfica que representa la orientación de los sets de discontinuidades presentes en los cuatro taludes analizados, desarrollándose roturas del tipo planar, en cuña y vuelco.**

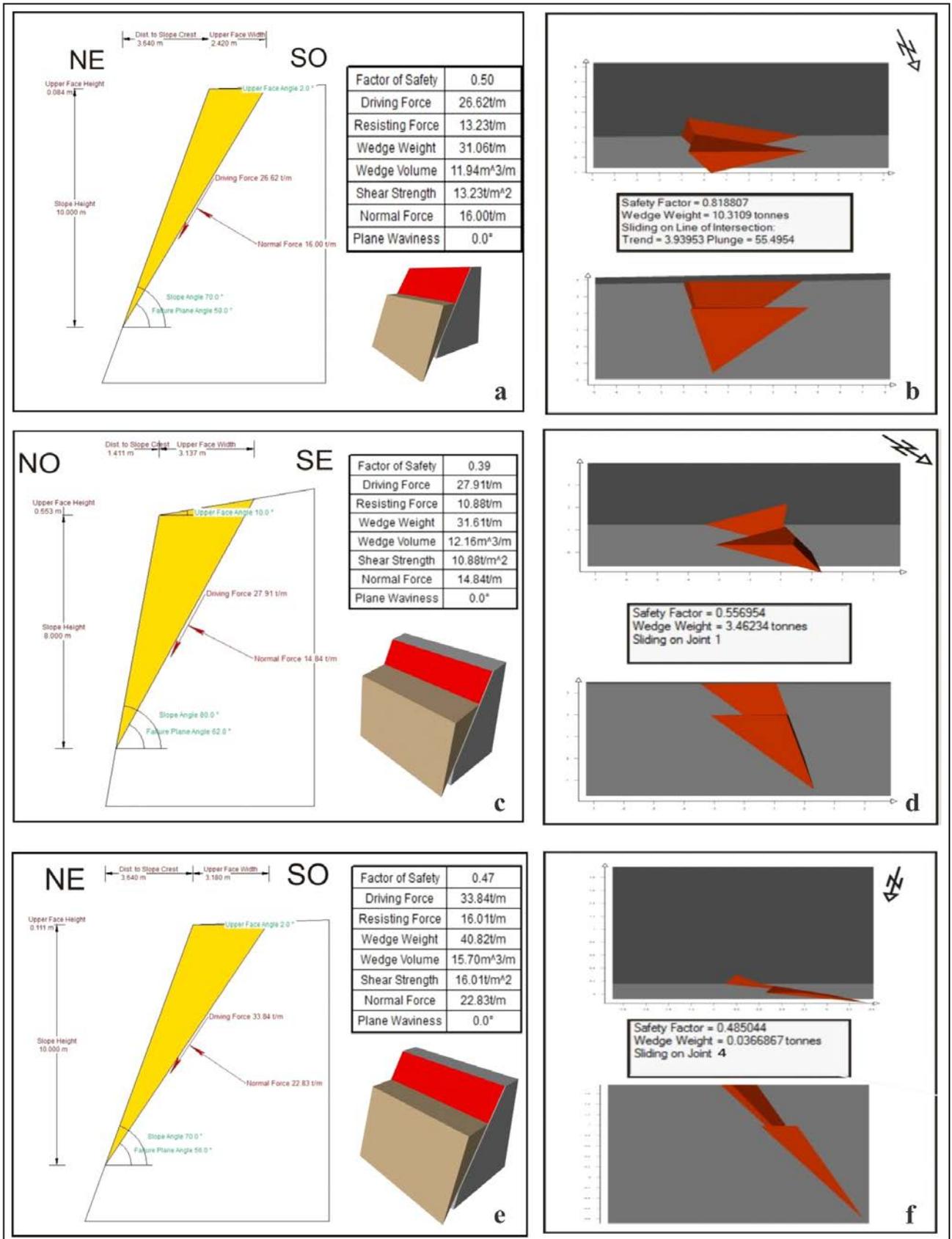


Figura 10. Modelos obtenidos para rotura planar y rotura en cuña en los taludes analizados (N=4), con FS<1 y que desarrollan inestabilidad por deslizamiento traslacional o caída de rocas.

## CONCLUSIONES

Los taludes del área de estudio se desarrollan en un macizo principalmente granítico y en forma subordinada metamórfico, afectados por un sistema de fallas extensionales con dirección NO-SE e inclinación al NE. De acuerdo a la orientación de los taludes, se desarrollan roturas del tipo planar, en cuña y vuelco.

Los deslizamientos traslacionales son los procesos de remoción en masa más comunes en la zona, siendo los deslizamientos planares los de mayor amenaza sobre los deslizamientos en cuña.

Los taludes presentan en su mayoría cara libre con ángulo de inclinación moderado a alto ( $60^\circ$  y  $90^\circ$ ), alturas relativamente bajas (2 a 14m) y longitudes variables (40 a 137m).

En los parámetros cuantitativos de las discontinuidades, predominan espaciamiento entre 20-60cm, discontinuidades menores al metro, aberturas entre 1-5 milímetros y superficies con rugosidad media.

La resistencia de la roca fue considerada en los afloramientos graníticos “dura a muy dura”, con grado de meteorización baja, mientras que en los esquistos la resistencia fue menor, con elevado grado de meteorización por las características mineralógicas de la roca de caja.

Se estimó un índice RQD de calidad “regular” en los taludes graníticos y “muy mala a mala” en los taludes metamórficos.

La clasificación geomecánica de los taludes analizados, presentan calidad que varía de “muy mala a media” (índice RMR corregido) y “mala a normal” (índice SMR).

Según el índice GSI, los afloramientos se caracterizan por frentes definidos por “bloques irregulares con una condición del frente buena a mala” (BI/B-M)

Los resultados obtenidos en el análisis de estabilidad para los diferentes tipos de roturas del macizo en los taludes analizados, presentan FS bajos ( $FS = 0.3$  a  $0.5$ ) para rotura planar (Taludes N° 1, N° 2 y N°3).

En las discontinuidades que generan rotura en cuña, los FS varían de 0.48 a 0.82 en el macizo ígneo-metamórfico.

Los taludes seleccionados presentan constante inestabilidad por caída de rocas, los que deberían realizarse cambios en la geometría de estos, para disminuir el riesgo de caída de rocas.

El sector con mayor amenaza de deslizamientos planares en el tramo de estudio de la ruta, se encuentran en la zona de Cuesta del Gato.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Lic. Facundo Gómez, por su colaboración brindada en las diversas tareas desarrolladas en terreno.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

BIENIAWSKI, Z.T. (1979).

The Geomechanics classification in rock engineering applications.  
*2º Int. Congress on Rock Mechanics, vol. II. Suiza.*

COSTA, C. (1992).

Neotectónica del sur de la sierra de San Luis.  
*Tesis doctoral, Universidad Nacional de San Luis. Inédita.*

COSTA, C.H. Y CORTÉS, J. (1993).

Tectónica extensional en el extremo sur de la sierra de San Luis.  
*12º Congreso Geológico Argentino y 2º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 3:113-118.*

DEERE, D.U. (1963).

Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposes.  
*Felsmechanik and Ingenieurgeologie (Rock Mechanics and Engineering Geology), Vol 1 (I): 16-22.*

DENARO, J. Y SALES, D. (2018A).

Análisis geotécnico de los taludes de la autovía R.P.N°20, entre el B° Cerros Colorados y El Volcán, Provincia de San Luis.  
*Actas 1º Congreso Argentino de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente (Tema 1), en CD, ISBN N° 978-987-21766-5-5.*

FARIOLI, C. Y SALES, D. (2018A).

Análisis de estabilidad y riesgo asociado de los taludes de precorte del circuito Potrero de los Funes, Provincia de San Luis.  
*Actas 1º Congreso Argentino de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente (Tema11), en CD, ISBN N° 978-987-21766-5-5.*

GÓMEZ, F.M. Y D. SALES (2018A).

Caracterización y Clasificación Geomecánica de los taludes de la autovía Los Puquios, Provincia de San Luis.  
*Actas 1º Congreso Argentino de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente (Tema 8), en CD, ISBN N° 978-987-21766-5-5.*

HOEK, E. Y BROWN, E.T. (1997).

Practical estimates of rock mass strength.  
*Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. Elsevier, Vol. 34, N° 8: 1165-1186.*

INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS - ISRM (1981).

Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring.  
*ISRM Suggested methods. Ed. E.T.Brown. Pergamon Press.*

- MOROSINI, A.F. (2011).  
El Granito la Escalerilla, Provincia de San Luis.  
*Tesis Doctoral. Universidad Nacional de San Luis. Inédita.*
- PALMSTROM, A. (1975).  
Characterization of degree of jointing and rock mass quality.  
*Int. Report Ing. A.B. Berdel, A.S. Oslo, 62 pp.*
- ROCSCIENCE IND. (2013).  
<https://www.rocscience.com/>.
- ROMANA, M. (1997).  
El papel de las clasificaciones geomecánicas en la estabilidad de taludes.  
*IV Simposio Nacional sobre Taludes y laderas Inestables. Granada.*
- SALES, D., C. GARDINI Y D. ORIGLIA, 2001.  
Caracterización geomecánica de taludes en Potrero de los Funes, Provincia de San Luis.  
*Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, 16: 153-159. ISSN: 0326-1921.*
- VARNES, D.J. (1984).  
Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice.  
*Commission on landslides of the IAEG, UNESCO. Natural Hazards No. 3, 61 pp.*
- VON GOSEN, W. Y PROZZI, C. (1998).  
Structural Evolution of the Sierra de San Luis (Eastern Sierras Pampeanas, Argentina): implications for the proto-andean Margin of Gondwana.  
*In: Pankhurst, R. y Rapela, C. (Eds): The Proto-Andean Margin of Gondwana. Geological Society of London, Special Publication, 142: 235-258, London.*