

Caracterización geotécnica y análisis de la estabilidad de los macizos rocosos del camino de acceso al C° San Bernardo, Ciudad de salta

L. G. Cerúsico¹ | J. J. Marcuzzi²

Resumen

En este trabajo se describe la caracterización geotécnica de los afloramientos rocosos que conforman los taludes del camino de acceso a la cumbre del cerro San Bernardo, y se evalúa su inestabilidad para producir potenciales deslizamientos.

El análisis de la estabilidad de un talud rocoso no es una tarea sencilla, y requiere de un cuidadoso análisis de campo, para interpretar y comprender la importancia de los factores geoambientales que pueden favorecer los procesos de inestabilidad de los taludes. La caracterización geotécnica es una metodología útil, que permite evaluar mediante diferentes indicadores o parámetros los límites de estabilidad, según los usos para un talud analizado.

Palabras clave: geotecnia, macizos rocosos, taludes, clasificación geomecánica, estabilidad

Introducción

El cerro San Bernardo forma parte del relieve orográfico de la Sierra de Mojotoro, constituyendo el cierre oriental del Valle de Lerma, y cuyas alturas máximas no superan los 2.100 m.s.n.m. El cerro San Bernardo tiene una altura

aproximada de 300 m desde el piso del valle, y se ubica aproximadamente en la parte media del borde este de la ciudad de Salta cuya altura promedio es de 1.200 m.s.n.m., en el sector centro-occidental de la sierra de Mojotoro, también conocida como las serranías de Vélez.

¹ Escuela de Geología de la Universidad Nacional de Salta.

² Facultad de Ingeniería e Informática de la Universidad Católica de Salta.

Esta unidad geoambiental (Marcuzzi J.J. et al, 1996) cumple con diferentes propósitos significativos de actividad social de los salteños, donde el camino de acceso adquiere gran importancia. La traza del mismo fue inaugurada el 20 de febrero de 1933 y su pavimentación comenzó el 24 de febrero de 1971, finalizado en 1972, posee una extensión de 3.796 m y un ancho promedio de calzada de 6,00 m. Los taludes de la traza están constituidos por afloramientos rocosos y suelos, o una combinación de ambos.

De acuerdo con la importancia social que tiene esta unidad del relieve y por lo tanto también del camino de acceso, es precisamente que el objetivo de éste trabajo fue realizar un estudio para la caracterización geotécnica de los afloramientos o macizos rocosos que conforman los taludes y laderas que afloran a lo largo de la traza. Estos están constituidos por estratos de diferentes litologías, fracturados y que por su aspecto se considera que pueden ser estables, pero la realidad en los últimos años ha demostrado lo contrario.

Los problemas de deslizamientos de rocas y otros fenómenos asociados, en el camino de acceso, por lo menos en los últimos veinte años constituyen un problema cíclico vinculado principalmente con las condiciones climáticas, caso de las precipitaciones que tienen lugar durante el verano. Así durante el periodo estival de 2008 por la fuerte pluviosidad tuvieron lugar procesos de deslizamientos de taludes rocosos, posiblemente los más significativos de los

últimos tiempos, que comprometieron seriamente la estabilidad del camino.

Según lo antes expresado, se tomó la decisión de encarar este trabajo sustentado en la importancia que tenía contar con un análisis de la estabilidad de los taludes y laderas del camino de acceso al cerro San Bernardo, dado que la demanda de uso turístico y social se incrementa en el tiempo. El aumento de la demanda de uso, intensifica el tránsito peatonal y automotor, donde la posibilidad de que los riesgos de deslizamiento puedan llegar a interesar la seguridad de los usuarios es importante. También la urbanización que se localiza en la zona baja de las laderas y piedemonte del cerro, son áreas de riesgo porque afloran formaciones rocosas sometidas a fenómenos de la geodinámica interna, externa y procesos antrópicos, que condicionan su estabilidad. Entonces este análisis se utilizó como base para determinar zonas estables, o con mayor potencialidad de procesos de deslizamientos generadores de riesgos.

Metodología de estudio

El estudio consistió específicamente en precisar las características geotécnicas de los macizos rocosos de acuerdo con la propuesta del Council for Scientific and Industrial Research (CSIR) de Sudáfrica, que se basa en la metodología desarrollada por Bieniawski, Z.T., 1973 para determinar el RMR (Rock Mass Rating), que fue modificada por el mismo autor en 1976,

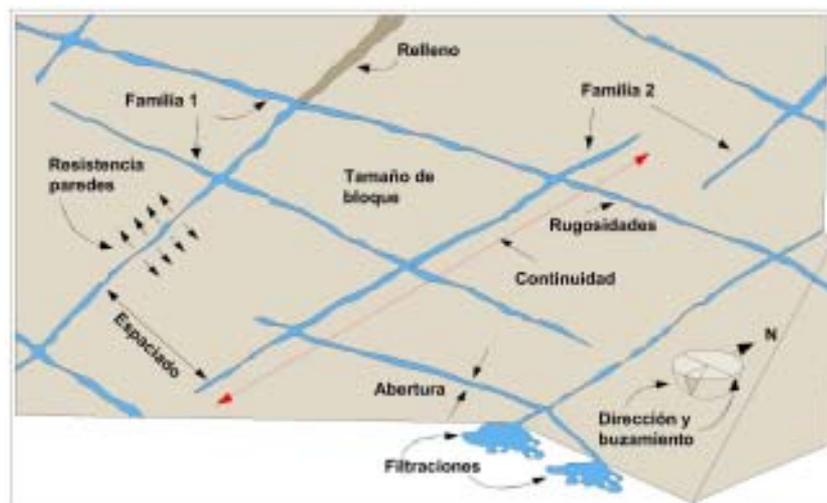
1979, 1984 y 1989; y actualmente es aceptada mundialmente para describir las condiciones geomecánicas de un macizo rocoso.

Luego, una vez conocidas las condiciones geomecánicas del macizo rocoso de acuerdo con el RMR, los taludes que conforman los mismos se clasifican según diferentes grados de estabilidad o inestabilidad, de acuerdo con el método de Romana, M. 1985, denominado SMR (Slope Mass Rating). El método propuesto por Bieniawski, 1979 y Romana 1992; para obtener el MRM y SMR respectivamente, requieren de la determinación de parámetros básicos. El método de trabajo para la caracterización de los macizos rocosos, involucra aspectos de campo, laboratorio y gabinete, que seguidamente se describen:

Tareas de Campo

a).-Las tareas de campo se llevaron a cabo de acuerdo con las técnicas de campo tradicionales de la geología aplicada, empleando brújula geológica, GPS, cintas métricas y otros elementos necesarios de exploración.

b).-Consistió en realizar reconocimientos «in situ» de las características geológicas dominantes sobre afloramientos considerados claves a lo largo del camino, como la toma de datos de rumbo y buzamiento de su disposición espacial, y de las discontinuidades, además de la identificación de indicadores de los fenómenos de la geodinámica externa actuantes. Finalmente se tomaron de muestras para determinar en laboratorio, los parámetros geotécnicos necesarios para la caracterización de los taludes, y evaluar las condiciones de estabilidad. El análisis de las discontinuidades comprende parámetros, según el esquema N° 1.



Esquema N° 1.- Representación esquemática de los parámetros medidos en las diaclasas (Hudson, 1989).

Espaciamiento de las discontinuidades: es la distancia medida entre ellas a lo largo de una línea perpendicular a los planos de discontinuidad, se aplicó el espaciamiento medio, según Bieniawski, 1989; para la clasificación del RMR y SMR. El espaciamiento se midió con una cinta a lo largo del afloramiento rocoso, contando el número de juntas en una distancia fijada, multiplicada por el coseno del ángulo entre la normal a las juntas y el plano del afloramiento.

Estado de meteorización de las paredes de las discontinuidades: incluye parámetros como: rugosidad, separación, material de relleno, persistencia, y alteración de las paredes. Para esto se han propuesto una serie de escalas, así Bieniawski 1989, propuso una escala de rugosidad fácil de chequear en campo, con cinco categorías, donde la naturaleza del relleno gobierna el esfuerzo de corte de juntas no acopladas.

Separación de las discontinuidades: es la distancia perpendicular entre las paredes de rocas de una junta abierta. Depende si la junta está tiene o no agua. La separación de juntas gobierna el desplazamiento necesario para movilizar la junta de estrés.

Persistencia de las discontinuidades: según el ISRM, las discontinuidades pueden ser persistentes o continuas, y no persistentes o no continuas.

Agua: las condiciones hidráulicas son estimadas según la propuesta geomecánica del RMR.

Orientación de las discontinuidades: para esto las familias de

discontinuidades requieren de la determinación del buzamiento y dirección de buzamiento, medidas con brújula geológica.

Orientación del talud: La orientación de los taludes son difíciles de medir, la clasificación se realiza con los valores medios estimados de las inclinaciones, con un error de $\pm 5^\circ$.

c).-La caracterización de los macizos de acuerdo con el RMR se realizó en base a los seis parámetros propuestos por Bieniawski Z.T., 1979, que son:

- 1) Resistencia a compresión simple de la roca
- 2) R.Q.D. (Rock Quality Designation),
- 3) Distancia de separación entre las discontinuidades,
- 4) Condición de las discontinuidades,
- 5) Flujo del agua subterránea en las discontinuidades y
- 6) Orientación de las discontinuidades. Con estos parámetros se obtuvo el Índice de Calidad RMR.

d).-El índice de calidad RMR varía entre 0 y 100 y define cinco clases de roca designadas con números romanos, que se corresponden con cinco calidades del macizo rocoso: I) Muy buena, II) Buena, III) Media, IV) Mala y V) Muy mala. Estos y los diferentes modos de falla, en la mayoría de los casos están gobernados por las superficies desarrolladas por las discontinuidades.

e).-Después de definido el RMR, se evaluó la estabilidad de los taludes rocosos mediante la obtención del «**SMR Index**» = **Índice de Evaluación de Masas de Deslizamiento**». El índice SMR es una herramienta muy útil para la valoración preliminar de la estabilidad de macizos rocosos. El método se sustenta en reglas simples para el análisis de la inestabilidad de los taludes rocosos y proporciona pautas para resolver el problema.

f).-Los resultados fueron volcados en el mapa geológico base y luego en el mismo se definieron áreas homogéneas de iguales características de estabilidad o no, y se propusieron posibles métodos de remediación.

Trabajos de gabinete y laboratorio

En base a los datos obtenidos en la etapa anterior y complementada con la información resultante del análisis de antecedentes, a partir de mapas topográficos, información geológica existente en publicaciones y estudios anteriores, se procedió a la clasificación geomecánica de los macizos rocosos que conforman los taludes o laderas. En laboratorio se realizaron los ensayos necesarios que requieren las metodologías para este objetivo, esto incluye la identificación petrológica de las muestras.

La resistencia a la compresión simple se estimó según el método propuesto por el ISRM: «Suggested Method for the Quantitative Description of

Discontinuities in Rock Masses», 1978; que puede ser medida satisfactoriamente con un lápiz rayador, un martillo geológico o el martillo de Schmidt. La metodología indica que los ensayos de laboratorio solo son necesarios para rocas blandas, porque para rocas duras los valores correlacionables no inducen a grandes errores, por lo que algunos autores han sintetizado los procedimientos y resultados de ensayos para obtener estimaciones de valores de la compresión uniaxial, caso de las correlaciones realizadas por Deere, 1966 y Beverly 1979.

Para estimar el Índice de Calidad de las Rocas, RQD «Rock Quality Designation», que se basa en el porcentaje de recuperación de testigos de un sondeo, que depende indirectamente del número de fracturas y del grado de la alteración del macizo rocoso, Palmstrom 1992, propuso una correlación aproximada entre el RQD y el recuento volumétrico de discontinuidades o el número de discontinuidades por metro cuadrado, cuando no se dispone del RQD. Este se estimó mediante observaciones de campo, según la fórmula alternativa:

Donde:

«Jv»: número de juntas identificadas en el macizo rocoso por m²,

«S»: es el espaciamiento medio para las discontinuidades de la familia i(m). Priest y Hudson, 1976, proponen una correlación entre el espaciamiento medio entre juntas y el valor del RQD en la dirección perpendicular de las juntas, según:

$$RQD = 100(0.1/S + 1)\exp(0.1/S)$$

Donde S es el espaciamiento medio en metros.

$$RQD = 115 - 3,3 \times J_v \quad (RQD > 100) = \sum J_i / S$$

Para ello se realizó, en un metro cuadrado de afloramiento tomado al azar, el recuento de diaclasas que se encuentran en dicho espacio obteniendo de esta forma el número de juntas por m² (J_v). En el caso que el RQD sea < 0 se lo toma como valor 0.

Metodología general

La metodología general del trabajo fue:

- Ubicación de los afloramientos rocosos visibles en taludes y laderas, de la traza del camino de acceso a la cumbre, mediante el empleo de GPS, y determinación de las diferentes litologías que los conforman. También se relevaron los drenajes principales, elementos estructurales y del relieve que sean de interés para el análisis.
- En cada afloramiento se determinaron los parámetros básicos de la geometría del talud, como la altura vertical (L) y la longitud horizontal (H) para determinar la pendiente del plano del talud. También se describió en el talud la cubierta de suelos y vegetación. Se verificaron si existen indicadores de deslizamientos anteriores.
- En superficies representativas de los afloramientos rocosos seleccionados, se procedió al relevamiento de discontinuidades según la metodología propuesta

por la International Society for Mechanics of Rocks (ISMR), 1978, para determinar los Índices MRM y SMR, empleando brújula geológica.

- La información necesaria de las discontinuidades para la caracterización de los macizos rocosos, consiste en el relevamiento del espaciamiento de las mismas, su orientación, inclinación, rugosidad, estado de alteración e infiltración de agua. Esta tarea contempla también los espesores de los estratos, su rumbo y buzamiento. Para este trabajo se emplearon fichas de campo, que fueron diagramadas según las necesidades.
- En gabinete se procesó la información de campo para determinar áreas de similares características geológicas, geotécnicas e hidrológicas, para el análisis de estabilidad de los macizos, según los sistemas de clasificación MRM y SMR.
- Los resultados del paso anterior, permitieron elaborar mapas geológico-geotécnicos bases, de la traza del camino, empleando la simbología propuesta por la UNESCO en la Guía para la Preparación de Mapas Geológicos Ingenieriles (UNESCO, Engineering Geological Maps, 1976).
- Finalmente se concibieron las conclusiones sobre la situación de la estabilidad de los macizos por sectores de la traza y las propuestas de acciones de control en las partes que presentan mayor susceptibilidad de deslizamiento.

Aspectos bioclimáticos

Las características bioclimáticas del área ya fueron expuestas con detalle en un trabajo anterior Marcuzzi J.J. y L. Cerúsico 2009, por lo que en el presente solo se mencionaran algunos aspectos considerados importantes para la comprensión del presente estudio. El clima del área de trabajo, es de tipo tropical serrano (cálido húmedo a subhúmedo), con veranos lluviosos, inviernos secos y temperaturas moderadas durante todo el año. Los parámetros que lo caracterizan según datos de la estación del INTA Cerrillos, son:

Temperatura	
Mínima media anual	10.9°C
Mínima absoluta anual	-6.8°C
Máxima media anual	23.8°C
Máxima absoluta anual	39°C
Media anual	16.7°C.

Precipitación	
Precipitación anual	700 mm
Humedad relativa media anual	72%
Humedad relativa máxima media anual	91%
Humedad relativa mínima media anual	47%

La sierra del Mojotoro determina una barrera climática que frena el paso de las masas de aire húmedo provenientes del este, de modo que las lluvias se descargan principalmente sobre las laderas orientales y también determina la presencia de microclimas. Los períodos lluviosos se extienden desde octubre hasta abril, y los secos en los meses restantes.

La vegetación original la del bosque xerófilo, con estratos pertenecientes al distrito fitogeográfico del Chaco Serrano; de composición botánica heterogénea, actualmente muy alterada, tanto en su estructura como en su densidad vegetal. Las laderas occidentales son más cálidas, secas, rocosas y con escasa cantidad de materia orgánica por efecto de un balance hídrico desfavorable. La ladera este es más húmeda y con mayor desarrollo edáfico y presencia de materia orgánica, por la menor inclinación de la ladera que favorece la retención hídrica y un mejor desarrollo de la vegetación. En cuanto a la fauna está representada por una gran variedad de mamíferos, reptiles y aves.

Los suelos dominantes en el área poseen un débil desarrollo edáfico, con perfiles tipo A-AC-C, de textura fina a media en superficie y gruesa en profundidad. El drenaje interno varía según las texturas y la geomorfología. En superficie poseen alto contenido de materia orgánica y el pH varía entre ácido y alcalino. El grado de erosión es alto por las pendientes elevadas (Nadir, A. et al, 1982).

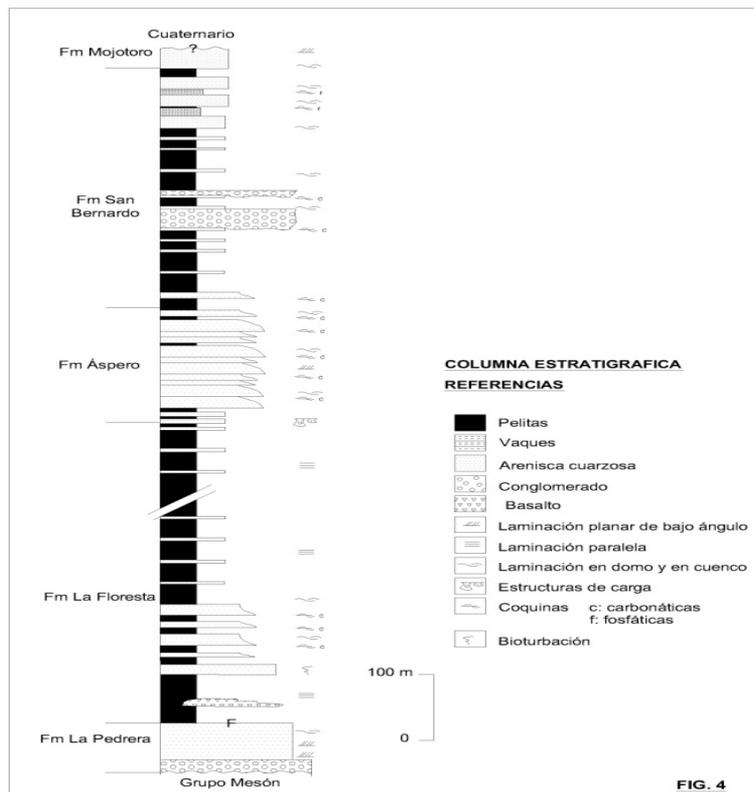
Estratigrafía

La sucesión estratigráfica expuesta de la Sierra de Mojotoro, en un aspecto amplio, comprende rocas del denominado basamento conformado por la Fm Puncoviscana (Precámbrico), del Grupo Mesón (Cámbrico), Grupo Santa Victoria (Turner, 1960a) (Ordovícico), y depósitos cuaternarios.

En orden cronológico descendente las formaciones ordovícicas que integran el Grupo San Victoria las formaciones son: La Pedrera, Floresta, Áspero, San Bernardo (de importante contenido

fosilífero) y Mojotoro. En el área de estudio dominan los afloramientos del Ordovícico inferior (Fig. 1), representados por rocas sedimentarias marinas, con una alternancia de bancos de cuarcitas, areniscas y pelitas, que se disponen en orientación norte-sur y buzamientos generales hacia el oeste.

La disposición estructural de la serranía da lugar a un relieve asimétrico caracterizado por laderas occidentales escarpadas, acordes con el buzamiento de los estratos (30°-40° promedio) orientales y menos inclinadas. La edad de las formaciones es Tremadociana (ladera este) y Arenigiana (ladera oeste)



Relieve y geomorfología

El lugar de trabajo se encuentra en un sector del bloque positivo de la sierra de Mojotoro, que adquirió su conformación actual durante los ciclos diastróficos del Terciario superior y manifestaciones tardías del Cuaternario, que lo elevaron, fracturaron bascularon hacia el este. Desde entonces la sierra de Mojotoro comenzó a sufrir un proceso de erosión que dio lugar a las geoformas que vemos actualmente, producto de la incisión de una red hidrográfica que se adapta a las formaciones litológicas presentes (Ruiz Huidobro, 1968).

Para el autor antes mencionado, la Sierra de Mojotoro es un plegamiento asimétrico limitado por fallas, donde la estructura controla una red de drenaje consecuente que nace sobre la línea de cumbres y está desplazada hacia el oeste como consecuencia de su asimetría. La serranía como resultado del basculamiento presenta pendientes más suaves hacia el este y más abruptas hacia el oeste. El buzamiento de los estratos hacia el oeste es solidario con la pendiente topográfica, dando lugar esta conjunción a cierto grado de inestabilidad de las laderas.

Los taludes sobre los que se emplaza la traza del camino de acceso están conformados por unidades litológicas de naturaleza sedimentaria, las que desde el punto de vista petrológico se clasifican como cuarcitas, lutitas, areniscas y waques, a los que suprayacen depósitos

sedimentarios cuaternarios con texturas de granulometría variable.

En general la estabilidad de las unidades litológicas de la Formación Mojotoro, que conforman los taludes, depende de un conjunto de factores como altura del talud, litología, drenaje interno, grado de fracturación y orientación de los mismos. Así se observan derrumbes y flujos de sedimentos de diversa magnitud al pie de los taludes rocosos que siguen la dirección de buzamiento de los estratos, ubicados en toda la traza y coinciden con litologías propensas al deslizamiento o sedimentos inconsolidados. Los derrumbes de pequeña escala no comprometen la estabilidad del camino, pues por lo general cubren menos de medio carril.

La ladera occidental, por la orientación espacial de los estratos y la topografía, por la concurrencia de los elementos estructurales y de los relieves mencionados es susceptible a sufrir cíclicamente problemas de deslizamiento. A lo anterior se suman otros factores disparadores, como la sismicidad de la comarca y el clima con lluvias intensas. Las formaciones lutíticas muestran mayor tendencia a desarrollar derrumbes y deslizamientos, La mayoría de éstas dan lugar a derrumbes y flujos, siguiendo el sentido de la estratificación, y en general conforman depósitos al pie del talud.

En éste tipo de ambiente, donde existen situaciones climáticas contrastantes entre el verano e invierno, con amplitudes térmicas acentuadas y pre-

precipitaciones intensas, la meteorización física y química se ve favorecida por la presencia de discontinuidades, especialmente en las formaciones lutíticas. Los procesos de meteorización favorecen los deslizamientos de las masas rocosas por debilitamiento de las mismas, en especial cuanto mayor es la densidad del grado de fracturación. En los deslizamientos los motores principales son la gravedad y la circulación de agua por las discontinuidades. Los deslizamientos en general tienen lugar a lo largo de las superficies de discontinuidad, cuyo movimiento puede ser rápido o progresivo en el tiempo, debido a los procesos naturales mencionados o por desestabilización antrópica.

Hidrología

Desde el punto de vista hidrológico, en el sector de estudios se observa la presencia de una red de drenaje de poco desarrollo típica de áreas de laderas rocosas bien diagenizadas y competentes, por lo que las quebradas con escaso desarrollo, normalmente son consecuencia de procesos tectónicos, por las que encauza el agua de las precipitaciones pluviales.

Parte de los volúmenes de las precipitaciones estivales se infiltran, dando lugar a un flujo subsuperficial a través de las discontinuidades litológicas y cuyos efectos tienen una importante incidencia en la estabilidad de los macizos rocosos (ver fotografías N° 1, 2 y 3). La vegetación de las laderas ejerce un efecto protector del suelo durante las llu-

vias al controlar la erosión hídrica.

Caracterización del macizo rocoso

Para la caracterización de los macizos se identificaron puntos con la presencia de afloramientos rocosos representativos, en sectores de taludes rocosos donde se determinó su constitución litológica, evidencias de la acción de fenómenos de la geodinámica externa e interna, como así también de la actividad antrópica que pueda haber contribuido a su inestabilidad. También se consideraron aspectos topográficos y estructurales de los taludes; como presencia de fallas, estratificación, pliegues, discontinuidades, cubierta vegetal, suelos y evidencias de flujo de agua, todos parámetros que influyen en la inestabilidad de las masas rocosas. Después de identificar los afloramientos rocosos, se consideraron en la traza del camino 25 puntos de observación, con cuya información se elaboró un plano geológico base.

En cada punto de observación se tomaron 250 datos estructurales (discontinuidades), donde se sistematizaron las características de las diaclasas de acuerdo con los cuadros comparativos existentes y las recomendaciones de la ISRM. Las tendencias del diaclasamiento se representaron mediante «Rosas de diaclasas», que fueron confeccionadas con el programa Stereonet. Los datos que se tuvieron en cuenta fueron: buzamiento y dirección de buzamiento, relevados estadísticamente en el trabajo de campo (Ver Fotos 1, 2 y esquema 2).



Fotos1 y 2. Macizo rocoso conformado por cuarcitas. Detalle del sistema de diaclasamiento.

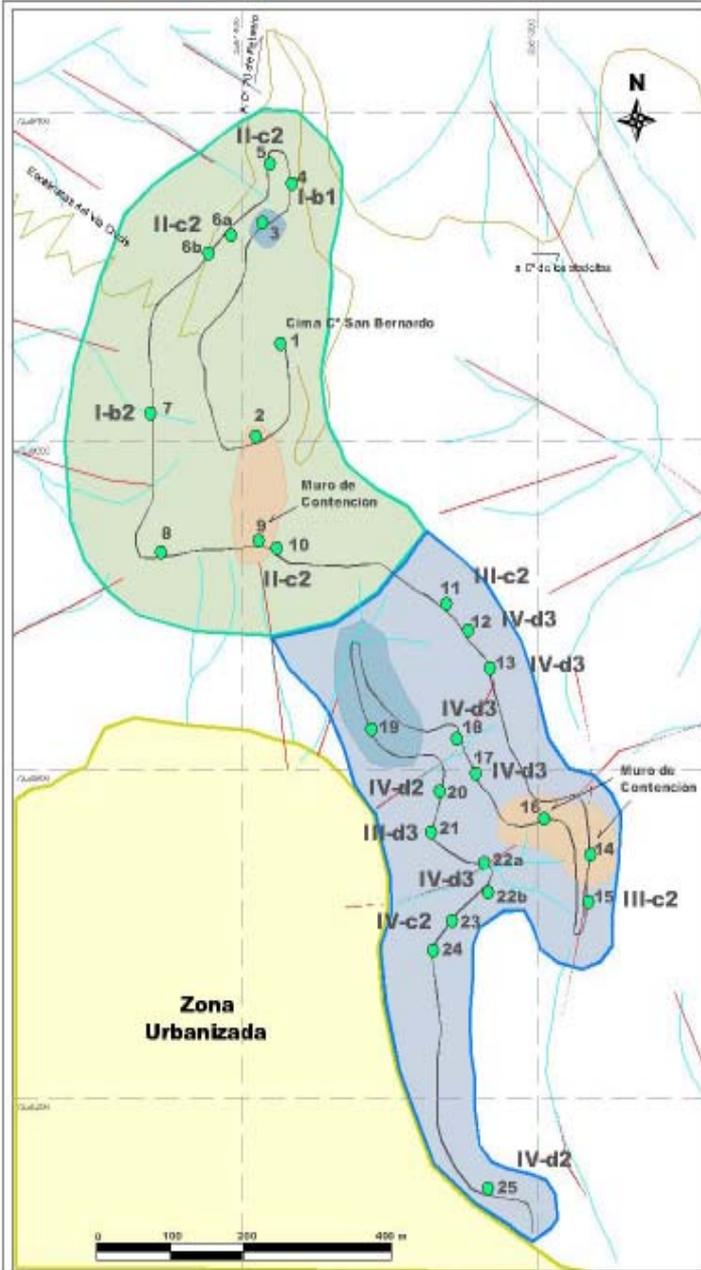


Esquema 2.- Rosa de Diaclasas

Lo expuesto en el párrafo anterior permitió dividir la traza de estudio en sectores de acuerdo con la litología de los afloramientos, de esta manera se sectorizó la misma en unidades elementales de acuerdo a patrones geológicos según las condiciones actuales de los taludes o cortes existentes. Luego, los macizos rocosos se clasificaron según las características geomecánicas de los mismos, según los parámetros resultantes y su interpretación por los sistemas MRM y SMR. De esta manera se obtuvo un esquema sectorizado de la traza

del camino en función de las características geomecánicas de los macizos rocosos.

Finalmente después de evaluar los parámetros geotécnicos obtenidos en función de los sistemas MRM y SMR, se clasificaron los taludes de acuerdo con su grado de estabilidad. Los resultados fueron volcados en un mapa geotécnico de aptitud (Ver mapa 2) que definió zonaciones en la traza del camino y se realizaron las recomendaciones necesarias para evitar o minimizar los riesgos de deslizamiento.



REFERENCIAS

- 1 Punto de Observación
- Zona de Cuarcitas y areniscas
- Zona de Lutitas
- Zona Urbanizada
- Zona de Coluviones
- Zona de deslizamientos
- Lineamientos tectónicos
- Hidrografía
- Escaleras del Vía Cruz
- Camino Pavimentado
- Caminos secundarios
- 1 Cima C° San Bernardo
- 2 Zona mirador con deslizamiento



Pto	Caracterización geotécnica y factores geológicos
3	Zona de coluvión. Plano del talud: 4,92 m. Pendiente: 52°
4	I-b1. Cuarcitas. Plano del talud: 3,38 m. Pendiente: 51°. Calidad: Buena. Estabilidad: Muy Buena. No necesita tratamiento
5	II-c2. Areniscas. Plano del talud: 3,69 m. Pendiente: 77°. Calidad: Regular. Estabilidad: Buena. Tratamiento a realizar: ocasional
6	II-c2. Areniscas. Plano del talud: 6,40 m. Pendiente: 38°. Calidad: regular. Estabilidad: Buena. Tratamiento a realizar: ocasional
7	I-b2. Cuarcitas. Plano del talud: 4,16 m. Pendiente: 74°. Calidad: Buena. Estabilidad: Buena. Tratamiento a realizar: ocasional
8	Punto de observación. Cuarcitas. Plano del talud: 4,85 m. Pendiente: 71°
9	Muro de contención. Areniscas
10	II-c2. Areniscas. Plano del talud: 5,80 m. Pendiente: 72°. Calidad: Regular. Estabilidad: Buena. Tratamiento a realizar: ocasional
11	III-c2. Alternancia de waques y lutitas. Plano del talud: 3,26 m. Pendiente: 62°. Calidad: Regular. Estabilidad: Buena. Tratamiento a realizar: ocasional
12	IV-d3. Lutitas. Plano del talud: 5,86 m. Pendiente: 64°. Calidad: Mala. Estabilidad: Normal. Tratamiento a realizar: sistemático
13	IV-d3. Lutitas. Plano del talud: 6,99 m. Pendiente: 30°. Calidad: Mala. Estabilidad: Normal. Tratamiento a realizar: sistemático
14	Muro de contención. Alternancia de waques y lutitas. Plano del talud: 11,09. Pendiente: 62°
15	III-c2. Alternancia de waques y lutitas. Plano del talud: 8,56 m. Pendiente: 51°. Calidad: Regular. Estabilidad: Buena. Tratamiento a realizar: ocasional
16	Muro de contención. Lutitas. Inclinación del muro de resguardo: 20°
17	IV-d3. Lutitas. Plano del talud: 5,89 m. Pendiente: 69°. Calidad: Mala. Estabilidad: Normal. Tratamiento a realizar: sistemático
18	IV-d3. Lutitas. Plano del talud: 8,74 m. Pendiente: 66°. Calidad: Mala. Estabilidad: Normal. Tratamiento a realizar: sistemático
19	Zona de coluviones.
20	IV-d2. Lutitas. Plano del talud: 7,17 m. Pendiente: 67°. Calidad: Mala. Estabilidad: Buena. Tratamiento a realizar: ocasional
21	III-d3. Alternancia de waques y lutitas. Plano del talud: 4,03 m. Pendiente: 63°. Calidad: Mala. Estabilidad: Buena. Tratamiento a realizar: ocasional
22	IV-d3. Lutitas. Plano del talud: 6,43 m. Pendiente: 78°. Calidad: Mala. Estabilidad: Normal. Tratamiento a realizar: sistemático
23	IV-c2. Lutitas. Plano del talud: 4,57 m. Pendiente: 66°. Calidad: Regular. Estabilidad: Buena. Tratamiento a realizar: ocasional
24	Punto de observación. Lutitas. Plano del talud: 4,56 m. Pendiente: 62°
25	IV-d2. Lutitas. Plano del talud: 7,39 m. Pendiente: 66°. Calidad: Mala. Estabilidad: Buena. Tratamiento a realizar: ocasional

MAPA GEOTECNICO O

Litología	Calidad de la Roca (Brenninkski, 1973)	Estabilidad del Bloque (Romano, 1955)
I Cuarcitas	a Muy Buena	1 Totalmente estable
II Areniscas	b Buena	2 Estable
III Intercalación de waques y lutitas	c Regular	3 Parcialmente estable
IV Lutitas	d Mala	4 Inestable

Conclusiones

- Desde el punto de vista petrográfico, los afloramientos se dividieron en dos zonas bien diferenciadas: *Zona de Cuarzitas y Areniscas* conformada por los puntos de observación desde el N° 1 al N°10. Y la *Zona de Lutitas* conformada por los restantes puntos de observación, desde el N° 11 hasta el N° 25.
- Las áreas de mayor riesgo a deslizamientos, según las observaciones de campo, pertenecen a las zonas donde se ubican los puntos de observación N° 2, 9, 14 y 16, por lo que en éstas se encuentran ubicados los muros de contención (punto N° 9, 14 y 16) o se encuentra el más importante deslizamiento que tuvo lugar. Además estos lugares son zonas coincidentes con los sectores de mayor desarrollo de lineamientos tectónicos.
- Los puntos de observación N° 7, 12, 13, 15, 20, 21, 22 y 25, presentan un sistema de diaclasamiento cuyo patrón se asimila a la forma de serrucho.
- Los macizos analizados en general son: heterogéneo y anisótropo: *Heterogéneo* en un sentido petrográfico, ya que el conjunto rocoso se compone de cuarcitas, areniscas cuarzosas, waques y lutitas; a la variedad en los espesores de los estratos el fuerte buzamiento y la pendiente topográfica coincidente en la mayoría de los casos con el buzamiento de los estratos. *Anisótropo*, por el diverso grado de fracturación en los diferentes sectores estudiados, Ambos características sumadas a la tectónica actuante quedan expuestas a su vez por la significativa dispersión de datos en las «Rosas de Diaclasas».
- Desde el punto de vista geotécnico, y tomando de referencia la clasificación geomecánica RMR, los afloramientos se dividen en rocas de calidad «Buena» caso de los punto N° 4 y 7; «Regular» como los puntos N° 5, 6 y 10, las cuales se encuentran en la zona de cuarcitas y areniscas. Las rocas de calidad «Mala» caso de los puntos N° 12, 13, 17, y 20 se encuentran en la zona de lutitas (Ver anexo N° 1 y figura 7).
- Desde el punto de vista geotécnico, y tomando de referencia el Índice de Evaluación de Masas de Deslizamiento SMR (Romana,1985), los afloramientos se dividen en rocas «estables» a «parcialmente estables» en la zona de lutitas. Y en rocas «totalmente estables» a «estables» en la zona de cuarcitas y areniscas (Ver anexo N° 1 y figura 7).
- Estadísticamente solo el 6,25 % de los afloramientos es totalmente estable, el 56,25 % es estable y el 37,5 % es parcialmente estable.
- Según la clasificación de Romana, solo el macizo del afloramiento N° 4 corresponde a la categoría «*totalmente estable*», en el que no se debe realizar tratamientos de remediación. Para los

«*macizos estables*», de los puntos de observación N° 5, 6, 7, 10, 15, 20, 23 y 25 se recomienda realizar tratamientos en forma ocasional, y para los «*macizos parcialmente estables*» de los puntos N° 12, 13, 17, 18, 21 y 22 se deben tratar en forma sistemática.

- Dentro de los parámetros geomecánicos analizados, se considera que el bajo espaciamiento de las discontinuidades principalmente en las lutitas como las que se encuentran en los puntos N° 12, 22 y 25, que poseen orientación semejante al plano de la mayoría de los taludes es uno de los principales condicionantes de la estabilidad, ya que el denso fracturamiento vinculado con la tectónica local y regional generan un elevado número de bloques de reducidas dimensiones y una importante disgregación mecánica del macizo produciendo los derrumbios a los pies de los mismos.

- En función a los riesgos geológicos detectados, según las observaciones de campo, se recomienda evitar construcciones sobre las laderas del C° San Bernardo, para evitar problemas en las edificaciones tanto estructurales como deslizamientos que las puedan afectar.

- De acuerdo a las observaciones de campo efectuados, por la falta de disponibilidad de mayores superficies de observación por ser Reserva Municipal, algunos de los valores de RMR (calidad de la roca) y SMR (estabilidad del ma-

cizo) resultantes no coincide con la situación actual de los afloramientos y las evidencias que ocurrieron en situaciones pasadas, por lo que se recomienda realizar estudios geotécnicos en mayor detalle para una mejor interpretación del comportamiento de los taludes de los macizos rocosos.

Referencias

1. Ayala Carcedo, F. y J. Jordá Pardo, 1988. Geología Ambiental. Inst. Tecnológico Geominero de España, pp 257, Madrid.
2. Bianchi, A.R. y C.E. Yáñez, 1992. Las Precipitaciones en el Noroeste Argentino. INTA, SAGyP, Estación Experimental Agrop. Salta, 383 pp., Salta.
3. Cerúsico, L.G. 2011. Caracterización geotécnica de los taludes rocosos del camino de Acceso al Cero San Bernardo, Ciudad de Salta, Prov. de Salta. Tesis Profesional-Escuela de geología-FCN- 80pp. Inédita.
4. Gallardo, A., Marcuzzi, J.J. y R. Argañaraz, 1994. Neotectónica del Espacio Geológico Urbano (EGU) de Salta, Argentina, I: Entorno Subregional del Valle de Lerma. 7° Cong. Geol. Chileno, Vol. 1:294 298, Concepción.
5. Gallardo, A., Marcuzzi, J.J. y R. Argañaraz, 1994. Neotectónica del Espacio Geológico Urbano (EGU) de Salta, Argentina II: Evidencia de Fallamiento Reciente en el Ejido de la Ciudad de Salta. 7° Cong. Geol. Chileno, Vol. I:628 632, Concepción.
6. Marcuzzi, J.J., Argañaraz, R. y V. Marcón, 1992. Riesgos Naturales y Aspectos Geotécnicos del Subsuelo de la Ciudad

- de Salta, R. Argentina. III Cong. Geol. de España y VIII Cong. Latinoamericano de Geología, Simposio T 2: 650 659, Salamanca.
7. Marcuzzi, J.J., Aragañaraz, R., Bejerman, J. y R. Battaglia; 1993. El Empleo de Mapas Temáticos Geológicos-Geotécnicos para la Planificación Urbanística de la Ciudad de Salta. Asoc. Arg. de Geol. Aplicada a la Ingeniería (ASAGAI). Publicación Especial N°1, pp151 165, Córdoba.
 8. Marcuzzi, J.J., Aragañaraz, R. y J. Bejerman, 1994. Bases para el Ordenamiento Urbano del Gran Salta. Salta, R. Argentina.
 9. Marcuzzi, J.J. y L. Cerúsico. 2009. Propuesta metodológica para la caracterización geotécnica de los taludes rocosos del camino de acceso al cerro San Bernardo, Ciudad de Salta. Cuadernos de la Facultad de Ingeniería e Informática, N°4. Pp 39-61. UCS. ISSN 1852-7094.
 10. Ruiz Huidobro, O.J., 1968. Descripción Geológica de la Hoja 7e, Salta. Prov. de Salta y Jujuy: Buenos Aires, Instituto Nac. De Geología y Minería, Boletín 109.