

## 3º CONGRESO PARAGUAYO DE VIALIDAD Y TRANSITO

Presentación de Trabajo Técnico

*“Estabilidad de Taludes y Laderas en Rutas: Evaluación y Medidas de Mitigación”*

*Geotecnia*

*Autores*

*Tatiana Stanichevsky Oreggioni; MSc. @POLIMI, IT; Geostan S.R.L;  
tatiana.stan@outlook.com*

*Miguel Stanichevsky Sryvalin; MSc. @MIT, USA; Geostan S.R.L;  
mstanichevsky@click.com.py*

## RESUMEN

---

La orografía del Paraguay consiste en extensas superficies de llanuras y cordilleras en donde las altitudes no superan los 850 m. Es por ello que los fenómenos de grandes deslizamientos de laderas son menos frecuentes que en otros países con relieves montañosos de mayor importancia. Así también, la necesidad de intervenciones con grandes cortes en proyectos viales se presenta con menor frecuencia. Estos factores, sumados a la baja actividad tectónica en la zona y la ausencia de ciclos de hielo y deshielo, resultan en un disminuido interés en exigir pertinentes estudios del riesgo asociado a movimientos de laderas y taludes, durante la fase proyectual y en etapas de mantenimiento. Sin embargo, inclusive una aislada ocurrencia de inestabilidad representa en muchos casos pérdidas humanas y económicas de consideración, por lo cual su predicción y mitigación no pueden ser obviadas. En este trabajo se mencionan los tipos de inestabilidades, así como los agentes causantes y los distintos mecanismos de falla. Se mencionan además actividades usuales de auscultación para su identificación y posibles medidas de mitigación del riesgo. Como ejemplo de aplicación se presenta un caso práctico de protección de talud de roca en la localidad de Puerto Presidente Franco realizado en el año 2013. Se describen procesos de determinación de parámetros de diseño y de análisis de estabilidad, así como de la proyección e implementación de los trabajos de mitigación. Se extraen conclusiones de relevancia para aplicaciones a nivel nacional.

**Palabras claves:** inestabilidad, laderas, cortes, taludes, fallas, anclajes, mallas.

## INTRODUCCIÓN

---

Las laderas son pendientes correspondientes a elevaciones topográficas naturales, mientras que los taludes (corte o terraplén) artificiales se refieren a inclinaciones en el terreno estructuradas por el hombre. Estas superficies se ven expuestas a distintas situaciones ambientales y climáticas a lo largo del tiempo que causan transformaciones físicas y químicas en los materiales componentes, además de cambios en las sollicitaciones actuantes. Es así como se generan inestabilidades que ocasionan el movimiento pendiente abajo de cuerpos rocosos o de suelo debido a la influencia de la gravedad. Dichas ocurrencias comprometen considerablemente la seguridad en obras viales por lo cual su identificación, predicción y prevención son de alta importancia.

La masa de suelo o roca movilizada se desplaza generalmente a lo largo de una superficie de falla y el movimiento puede darse en la forma de distintos mecanismos de falla. Según la clasificación de *Varnes 1958*, comúnmente utilizada en el mundo científico, los mecanismos de falla en laderas y taludes se agrupan en:

1. Deslizamiento traslacional de suelos y rocas
2. Deslizamiento rotacional de suelos
3. Derrumbe y caída de bloques de roca
4. Vuelco de bloques de roca
5. Flujo de detritos o derrubio

6. Flujo de barro
7. Expansión lateral en macizos rocosos

La falla ocurre cuando las fuerzas que se oponen al movimiento del cuerpo de suelo o roca (resistencia al corte del material que constituye la ladera o talud) son menores que las fuerzas que favorecen dicho movimiento (esfuerzos tangenciales movilizados a lo largo de la superficie de falla). Existen dos tipos de causas asociadas a dichos fenómenos: las causas predisponentes relacionadas a las características propias del talud o ladera como ser aquellas litológicas, estructurales, resistivas e hidrogeológicas; y las causas desencadenantes que actúan sobre el cuerpo detonando movimientos. Las últimas comprenden fenómenos naturales como lluvias, sismos, erosión, socavación, variación del nivel piezométrico, expansión de arcillas en juntas y carsificación de rocas carbónicas; y actividades humanas como explosiones, excavaciones, deforestación, sobrecargas por construcciones y descargas de aguas.

La identificación de zonas potencialmente inestables y su estudio, definiendo las causas predisponentes y desencadenantes de falla, así como la cinemática de su posible evolución, permiten la selección de medidas de disminución del riesgo. Para el efecto, resulta mandatorio la realización de auscultaciones en superficie y en profundidad en la zona de interés. Las primeras incluyen relevamientos topográficos y geomorfológicos (posicionamiento e identificación de extensión de la falla), relevamientos geológicos superficiales (descripción de naturaleza y condición de materiales) y relevamientos geológicos estructurales (mapeo y caracterización de discontinuidades en roca). Las auscultaciones en profundidad incluyen ensayos de penetración in situ, sondeos exploratorios con extracción de muestras, estudios geofísicos subsuperficiales y estudios hidrogeológicos. Los mismos permiten la caracterización de los materiales involucrados desde un punto de vista geomecánico, el posicionamiento de superficies de falla para la cuantificación del volumen del cuerpo en movimiento y la reconstrucción de la circulación hídrica del sistema.

Una vez definido el modelo físico evolutivo de la ladera o talud se procede al estudio de la estabilidad del mismo. Existen métodos analíticos como el método del equilibrio límite y métodos numéricos, entre los cuales se pueden mencionar el método de los elementos finitos y el método de las diferencias finitas. El tipo de análisis seleccionado dependerá del mecanismo de falla, de la complejidad del problema y del nivel requerido en los resultados. Como primera instancia para reducir el riesgo se puede proponer el control de las causas generadoras de movimientos en el terreno. En la mayoría de los casos esta medida por sí sola no es suficiente, por lo cual se recurren a medidas de control o de estabilización de las zonas susceptibles a fallas o con inestabilidad activa. Las posibles intervenciones de estabilización incluyen:

1. Conformación del talud o ladera
2. Protección contra la erosión al pie del talud (gaviones, escolleras, espigones)
3. Obras de contención (muros de gravedad o a ménsula, pantallas flexibles, tierra armada)
4. Obras de drenaje (canaletas, drenes verticales y horizontales, pozos y galerías drenantes)
5. Mejoramiento de suelos
6. Obras de refuerzo (anclajes activos y pasivos)

7. Obras de protección pasiva (redes de protección, trincheras, terraplenes y barreras contra caída de rocas)

En Paraguay existen pocos registros de inestabilidades ocurridas en la cercanía de obras viales. Un hecho reciente fue el derrumbe de un talud de roca situado en el kilómetro 47 de la Ruta II “Mariscal José Félix Estigarribia” en la fecha del 22 de Abril del 2017. Dicho acontecimiento puso en evidencia la necesidad de establecer procedimientos con criterios adaptados a la realidad nacional para la identificación, análisis y estabilización de laderas o taludes potencialmente inestables. Un caso práctico de estudio y estabilización exitoso es aquel correspondiente a la protección de un talud en roca en la localidad de Puerto Presidente Franco en el año 2013. En este escrito se mencionan los aspectos más relevantes del estudio y medidas adoptadas.

## LOCALIZACIÓN Y GEOLOGÍA

El talud estudiado se localiza en el distrito de Puerto Presidente Franco del departamento de Alto Paraná, a unos 420 km de la ciudad de Asunción, en el encuentro de las fronteras Argentina-Brasil-Paraguay, como se muestra en la Figura 1. El mismo presenta afloramientos de roca basáltica, como resultado de cortes realizados para la Ruta a la Marina y Aduana Paraguaya. Los trabajos de estabilización se dieron en el marco de la adecuación del punto turístico “Mirador Hito Tres Fronteras”.

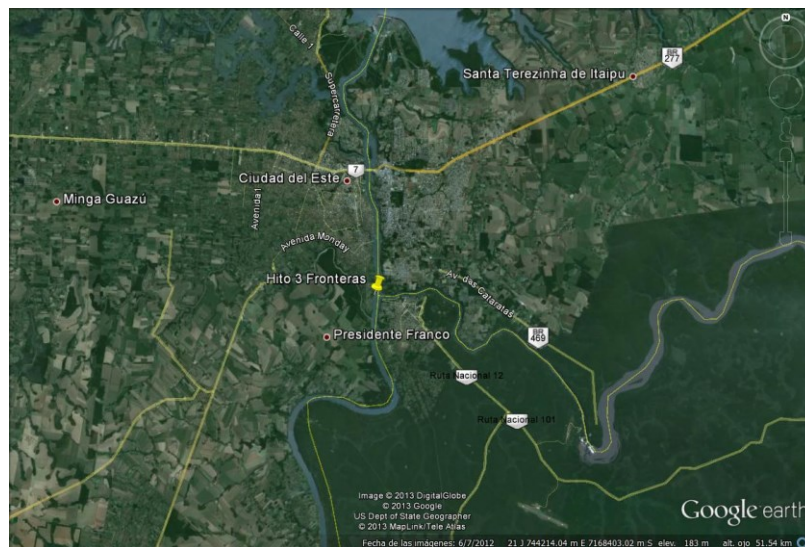


Figura 1. Localización Mirador Hito Tres Fronteras. Fuente: Google Earth.

La zona donde se localiza el talud pertenece a la Formación Alto Paraná que se constituye por una extensa área de derrame de basaltos que cubren en la cuenca un área total de 800.000 km<sup>2</sup> de los cuales 24.867 km<sup>2</sup> se encuentran en el Paraguay Oriental. La formación aflora con una dirección N-S, en una faja angosta desde Pedro Juan Caballero hasta el límite de la falla del Jejuí - Aguaray Guazú. En dirección al sur aumenta su área de exposición en la zona del bajo de San Pedro volviendo a

estrecharse más al sur próximo a Encarnación. Su máximo espesor en el Paraguay Oriental no es conocido aunque está estimado entre 700 a 800 metros en Itaipú cerca del Río Paraná (López 2006).

## CARACTERIZACIÓN DEL TALUD

Las actividades previas al diseño de la estabilización incluyeron auscultaciones en superficie y profundas. Primeramente se procedió al relevamiento planialtimétrico del talud y zonas aledañas, cubriéndose un área de 2500 m<sup>2</sup>. El relevamiento fue acompañado por la inspección visual de los materiales en el afloramiento y de las discontinuidades apreciables. Posteriormente se realizaron tres sondeos verticales rotativos de 30 m de profundidad cada uno para la determinación de la calidad del macizo rocoso en la profundidad. En la Figura 2 se observa el talud antes de ser estabilizado. La construcción superior fue demolida.



Figura 2. Talud de roca en Puerto Presidente Franco antes de ser estabilizado.

Los resultados de los estudios indicaron que el coronamiento primario del talud se encuentra a una altura promedio de 16 m a partir del pavimento asfáltico y que el área de roca expuesta cubre unos 750 m<sup>2</sup> de superficie. Se observaron discontinuidades en el afloramiento parcialmente rellenas de suelo limo arcilloso de coloración rojiza con ángulo de inmersión más desfavorable cercano a los 45°. El talud cuenta con una inclinación típica de 70° con algunas porciones del macizo rocoso en voladizo, como se aprecia en la Figura 3. Los sondeos ubicados en la parte más alta evidenciaron la presencia de material de relleno y de suelo residual en un espesor de aproximadamente 2 m, seguido del macizo rocoso con valores de RQD % entre 25% y 50% hasta el horizonte de basalto masivo situado a una profundidad de 5 m. En el sondeo situado en la zona cercana a la escarpada se observó desde los 0.60 m basalto fracturado con RQD % entre 50% y 75% hasta el horizonte de basalto masivo también situado a una profundidad de 5 m.

A partir de los datos recabados se infirió que el mecanismo de falla más probable se daría en la forma de caídas de bloques de rocas más superficiales, desencadenado por los efectos del intemperismo, principalmente la acción del agua en las discontinuidades.



Figura 3. Bloques de roca en voladizo con discontinuidades a la vista.

## TRABAJOS DE ESTABILIZACIÓN

Con el fin de disminuir el riesgo asociado al talud y proteger la ruta adyacente se aplicaron medidas estabilizadoras a corto y largo plazo. La medida a corto plazo consistió en la demolición de un bloque de roca en voladizo (de dimensión 5 m x 5 m x 3 m) utilizando medios no explosivos (perforaciones con cal hidráulica expansiva) para no comprometer la estabilidad de otros bloques y para proteger la integridad de los transeúntes. Parte del procedimiento se muestra en la Figura 4. La medida a largo plazo fue la ejecución de una protección pasiva en la superficie del talud consistente en una malla de acero anclada, dimensionada para prevenir el desprendimiento de bloques y estabilizar la parte más superficial del talud.



Figura 4. Demolición de bloque en voladizo con cal hidráulica expansiva.

Con el auxilio del software MAC.RO.1-REL. 1.0, desarrollado por el proveedor de la malla de acero, se calcularon las dimensiones de los anclajes y se seleccionó el tipo de malla más adecuada para los esfuerzos esperados. El software opera haciendo una verificación al equilibrio global y local, llevando en cuenta la inclinación más desfavorable de deslizamiento, así como la mayor dimensión estimable del bloque. En dicho cálculo también se adicionan los aportes resistivos adicionales generados a partir de la dilatación por corte en las juntas de deslizamiento, siguiendo las recomendaciones de *Barton et al. 1982*.

La malla seleccionada fue del tipo "Steel Grid" con aberturas hexagonales de doble torsión de 8 cm x 10 cm y 2.70 mm de espesor, combinada con cables de acero de 8 mm de diámetro cada 1 m en la vertical, y de 16 mm cada 2 m en la horizontal. La misma cubre 65 m lineales de ancho y alcanza el coronamiento primario del talud. Los anclajes son de 2.0 m de profundidad perforados con una separación vertical y horizontal de 2 m y una inclinación de 10 ° con la horizontal. Se instalaron 379 anclajes utilizando barras de acero de 32 mm de diámetro con extremos y tuercas galvanizadas. El comportamiento favorable del talud hasta la fecha ha confirmado la bondad de la medida adoptada. En la Figura 5 se observa la vista axonométrica de la intervención, mientras que la Figura 6 se presenta un corte típico. La Figura 7 muestra el talud estabilizado.

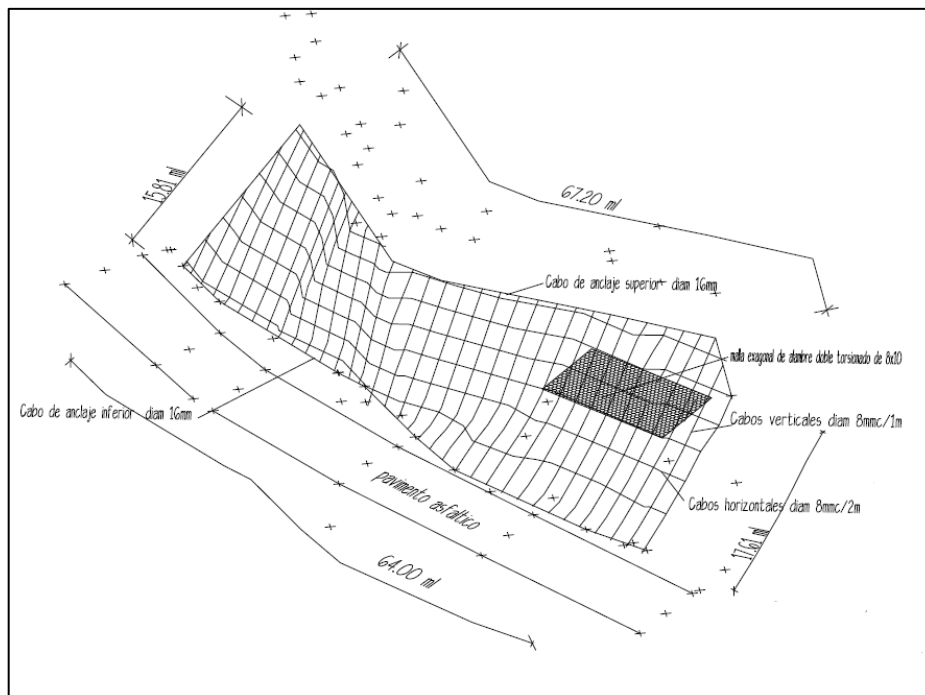


Figura 5. Vista axonométrica de la intervención.

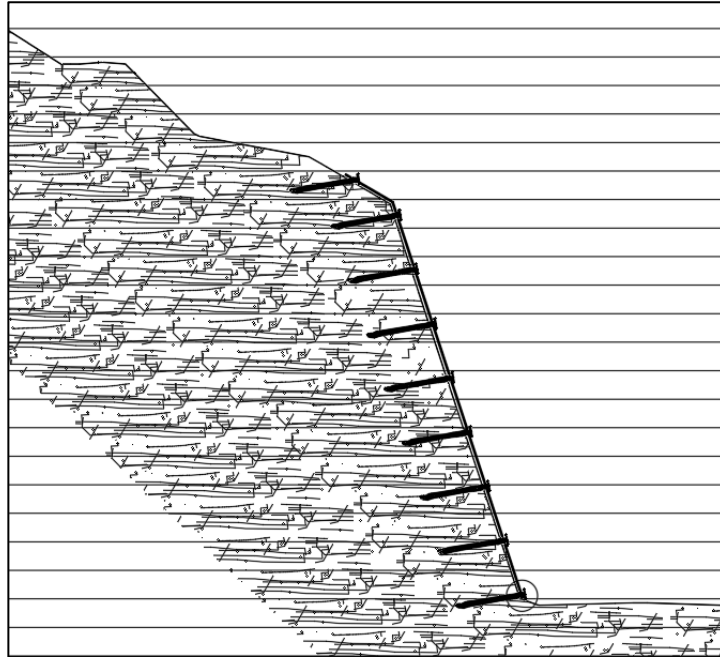


Figura 5. Corte típico de la intervención.



Figura 6. Talud estabilizado con malla "Steel Grid" y anclajes en cuadrícula 2 m x 2 m



## DISCUSIÓN

---

El procedimiento de estabilización adoptado fue una solución funcional y económica. El riesgo de desprendimientos de rocas fue disminuido sin clausurar el tráfico en ningún momento y prescindiendo de la necesidad de transportación de materiales, como hubiera sido en el caso de realizar una conformación del talud mediante voladuras. La opción de utilizar medidas de protección pasivas de tipo barrera o trinchera quedó descartada debido al reducido espacio físico disponible. Así mismo, no se vio la necesidad de implementar intervenciones de refuerzo por no existir riesgo de inestabilidad profunda.

La metodología de trabajo, con aplicación a casos generalizados de taludes y laderas en rutas, fue el de la realización de estudios superficiales y profundos seguidos por la definición del mecanismo de falla más probable y finalmente el análisis de estabilidad con proyección de la medida de mitigación adapta. Los tipos de ensayos a realizarse siempre dependerán de la naturaleza del talud o ladera en estudio. En el caso de macizos rocosos, como el del presente análisis, se hace especial énfasis en la importancia de los análisis geomorfológicos y geológicos estructurales, ya que el comportamiento de los mismos se encuentra determinado por sus discontinuidades.

Actualmente existen rutas nacionales y nuevos trazados en donde se evidencian taludes adyacentes expuestos de consideración. Su identificación y estudio permitirán incrementar la seguridad vial de los usuarios. Para futuros trabajos también se podría proponer incluir en manuales nacionales una metodología de análisis que incluya las fases descritas en el trabajo y que también sugiera procedimientos de evaluación según casos típicos de inestabilidades potenciales.

## CONCLUSIONES

---

Tomando en consideración lo expuesto en el presente análisis, se llega a las siguientes conclusiones:

- a) La ocurrencia de inestabilidades en taludes y laderas adyacentes a rutas en Paraguay es menor en comparación a otros países. No obstante, su identificación, predicción y prevención es de importancia ya que inclusive un evento aislado puede representar pérdidas humanas y económicas de consideración. Establecer pautas de análisis para casos típicos e incluirlas en manuales de diseño nacionales podría ayudar al mejor desarrollo de futuros proyectos.
- b) Las masas de suelo o roca se movilizan a lo largo de una superficie de falla según distintos mecanismos de falla. Las fallas se producen debido a factores predisponentes del talud o ladera y debido a factores desencadenantes. El reconocimiento de dicho mecanismo y de las causas desencadenantes permitirá la correcta selección de métodos de mitigación del riesgo.
- c) Para el reconocimiento del mecanismo de falla potencial se deben realizar auscultaciones previas en superficie y profundas. Identificada la misma, se realizan análisis de estabilidad

mediante métodos analíticos como el equilibrio límite o métodos computacionales como el método de elementos finitos o diferencias finitas.

- d) Existen varias posibilidades de intervenciones de estabilización. La elección dependerá del mecanismo de falla de interés, de las causas de falla y de criterios de funcionalidad y economía en la implementación. La estabilización del talud en Puerto Presidente Franco es un ejemplo reciente de intervención exitosa en territorio nacional.

## BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] N.R. Barton; S.C. Bandis, «Effects of block size on the shear behaviour of jointed rock.,» *U.S. symp. on rock mechanics*, vol. 23, pp. 739-760, 1982.
- [2] D. Varnes, «Slope movements, types and processes,» *Analysis and Control, Transportation Research Board*, vol. 176, pp. 11-33, 1978.
- [3] R. Gallardo, «Estabilidad de taludes en corredores viales,» *Ingenio*, vol. 1, pp. 12-18, 2009.
- [4] MACCAFERRI, «Rockfall protection system: Theory and background manual,» Versión 1.08, 2014.
- [5] L. Scesi; M. Papini; P. Gattinoni; L. Longoni, *Geologia Tecnica*, Milano: Casa Editrice Ambrosiana, 2015.
- [6] M. Stanichevsky, «Informe de relevamiento planialtimétrico,» 1436\_Geostan S.R.L, Asunción, 2013.
- [7] A. López, *Manual de Geología del Paraguay*, San Lorenzo: Artes Gráficas Zamphirópolis S.A, 2006.
- [8] M. Stanichevsky, «Informe de estudio geotecnico con perforaciones rotativas en rocas,» 1436\_Geostan S.R.L, Asunción, 2013.
- [9] M. Stanichevsky, «Memoria de proyecto de protección y estabilizacion de talud,» 1482\_Geostan S.R.L, Asunción, 2013.
- [10] L. Scesi; M. Papini; P. Gattinoni, *Principi di Geologia Applicata*, Milano: Casa editrice Ambrosiana, 2014.
- [11] A. Alpizar, «Metodología de análisis de estabilidad de taludes para proyectos viales,» XI Congreso Nacional de Geotecnia, Costa Rica, 2012.