

ASOCIACIÓN COSTARRICENSE DE GEOTECNIA

REPORTE DE INSPECCIÓN RUTA 27 SAN JOSÉ - CALDERA

REPORTE DE
INSPECCIÓN
GEOTÉCNICA DE LOS
TALUDES DE CORTE
ENTRE LAS ESTACIONES
14+000 A 52+000

PUBLICACIÓN ACG.01.10
MAYO 2010



ASOCIACION COSTARRICENSE DE GEOTECNIA

REPORTE DE INSPECCIÓN

Ruta 27 San José - Caldera

Reporte de inspección geotécnica de los taludes de corte entre las estaciones 14+000 a 52+000

Publicación ACG.01.10

Mayo 2010

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	2
2.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	5
3.	OBJETIVOS Y ALCANCE	7
4.	METODOLOGÍA	8
5.	CONTEXTO GEOLÓGICO	9
6.	TRABAJO REALIZADO	10
6.1	REUNIÓN CON PROFESIONALES DE LA EMPRESA INSUMA S.A.	10
6.2	INSPECCIÓN TRAMO II RUTA 27 CIUDAD COLÓN - OROTINA.....	11
6.2.1	<i>Estación 47+960 Puente Salitral, margen izquierda</i>	12
6.2.2	<i>Zona de inestabilidad, km 47</i>	13
6.2.3	<i>Sector de grandes bloques por caer en el talud interno de la carretera, km 46,5</i>	15
6.2.4	<i>Zona con alteración hidrotermal en materiales brechosos, km 46</i>	16
6.2.5	<i>Margen izquierda Puente Concepción, km 45,2</i>	19
6.2.6	<i>Tratamientos contra caídos de rocas en margen izquierda, entre km 45,4 y km 44,2</i>	20
6.2.7	<i>Talud con condiciones geotécnicas adversas, entre km 45,2 y km 44,2</i>	21
6.2.8	<i>Caída de rocas de ignimbrita fracturada, km 44,4</i>	22
6.2.9	<i>Tratamiento incompleto de un talud, km 44,2</i>	23
6.2.10	<i>Relleno en el borde externo y tratamiento de talud incompleto, Km 40 a km 39</i>	24
6.2.11	<i>Ejemplo de desagregación de matriz de roca volcánica, entre km 40 y km 38,5</i>	27
6.2.12	<i>Caídos desde zona alta sin tratamiento del talud, km 38,56</i>	28
6.2.13	<i>Tratamiento bien logrado de un talud, km 37,5</i>	30
6.2.14	<i>Tratamientos con malla contra caídos en roca brechosa, entre km 38 y km 37</i>	31
6.2.15	<i>Talud con acciones de drenaje pero sin protección contra erosión, antes del km 33</i>	33
6.2.16	<i>Zona de inestabilidad a la altura de Balsa, entre km 33 y km 34</i>	34
6.2.17	<i>Inestabilidad de los taludes rocosos de la radial a Atenas</i>	35
6.2.18	<i>Taludes de ignimbritas, después del cruce del puente sobre río Virilla hacia Caldera</i>	38
7.	ANÁLISIS GEOTÉCNICO	39
7.1	COMPORTAMIENTO ESPERADO DE LA OBRA	39
7.2	IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS	40
7.3	SOLUCIONES GEOTÉCNICAS.....	40
8.	CONCLUSIONES	42
9.	RECOMENDACIONES	45
10.	REFERENCIAS	46
11.	RECONOCIMIENTOS	47

1. Introducción

A solicitud del ingeniero Olman Vargas, Director Ejecutivo del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, la Asociación Costarricense de Geotecnia, adscrita al Colegio de Ingenieros de Costa Rica, publica el presente informe de inspección geotécnica de de la ruta 27 San José – Caldera.

A tal propósito, miembros de la Junta Directiva de la Asociación Costarricense de Geotecnia, realizaron una inspección geotécnica a lo largo de la ruta.. Específicamente la inspección geotécnica se realizó aproximadamente entre las estaciones 14+000 en las cercanías de Ciudad Colón, hasta la estación 52+000 en Orotina, entre las que se ubica el Tramo II del proyecto, donde la concesionaria realizó por completo la construcción de la carretera.

En 2008 el Consejo Nacional de Concesiones (CNC) del MOPT y el consorcio internacional Autopistas del Sol S. A., firmaron un acuerdo para que ese grupo construyera la obra por concesión. La concesionaria ha financiado la carretera valorada en \$370 millones (Ref. 2) y luego recuperará la inversión con el cobro del peaje durante 25 años. Autopistas del Sol está integrada por las firmas españolas FCC Construcción e Itinere Infraestructura, la portuguesa Soares Da Costa Concessões y la costarricense Corporación M&S Internacional.

La obra tiene una longitud de 77 kilómetros desde el Parque Metropolitano La Sabana hasta Caldera. Comprendió la construcción de un tramo nuevo, de 38,8 kilómetros, entre Ciudad Colón y Orotina, así como el mejoramiento de las secciones San José-Ciudad Colón (14,2 km) y Orotina-Caldera (23,8 km). Los trabajos de la carretera iniciaron el 09 de enero de 2008 y la carretera fue inaugurada el 27 de enero de 2010.

El 15 de febrero de 2010 (Ref. 1), como consecuencia de las lluvias que cayeron a lo largo de la vía recién inaugurada, ocurrió una serie de desprendimientos de rocas que obligaron al cierre de la carretera, lo que produjo filas de vehículos de hasta 500 metros. Los medios de comunicación masiva informaron del hecho y las manifestaciones de descontento y malestar con esta situación no se hicieron esperar por parte de los usuarios de la ruta y de la ciudadanía en general. Un evento similar ocurrió el 23 de febrero (Ref. 2), con una reacción similar por parte de los medios y de la ciudadanía. Finalmente, el 23 de mayo (Ref. 3), ocurrió otro evento de caída de rocas de mayor tamaño, que tuvo como consecuencia un accidente donde una mujer que viajaba en moto perdió la vida por las lesiones que le produjo el impacto con las rocas que habían caído en parte de la vía.

La mayoría de los comentarios que se realizaron en las informaciones de prensa y televisión, se relacionaban con la alta posibilidad de que durante la época lluviosa no solo se presentarían caídas de rocas, sino que además, se presentarían deslizamientos que afectarían la circulación por la nueva ruta

y que podrían provocar accidentes a los usuarios. Ante la situación que se presentó en febrero, el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos, a través de su Director Ejecutivo, le solicitó a la Asociación Costarricense de Geotecnia que diera una opinión de experto sobre el problema de estabilidad acaecido.

Con el fin de respaldar la opinión de experto solicitada, se realizó una visita de reconocimiento geotécnico que consistió en la observación de varios sitios que se consideraron como críticos de acuerdo con aspectos geométricos tales como la pendiente y altura de los taludes y con aspectos geotécnicos como el tipo de terreno, litología, condiciones de meteorización, alteración, erosión y grado de fracturamiento. También se observaron algunas de las obras de mitigación y control de estabilidad y manejo de aguas realizados por el concesionario. Adicionalmente, se realizó una reunión con personeros de la empresa INSUMA S.A., que ha realizado consultorías para Autopistas del Sol S.A., en el desarrollo de algunas de las obras de la ruta 27.

La principal conclusión es que los problemas de estabilidad observados a lo largo de la ruta son en alto porcentaje de índole superficial, aunque hay zonas que a mediano y largo plazo pueden tener un comportamiento inestable de mayores proporciones. Los factores que afectan a los taludes de corte son las altas pendientes y altura, la calidad geomecánica de los materiales y su susceptibilidad a la erosión, el efecto de pérdida de resistencia con el tiempo de los terrenos afectados por el hidrotermalismo, la heterogeneidad de los materiales presentes a lo largo de la ruta. A la fecha se han realizado obras de carácter pasivo para prevenir y controlar problemas, como la caída de rocas y la erosión, pero hay sectores que no cuentan con este tipo de obras y con el transcurso del tiempo presentarán problemas. En otros sectores se han realizado obras activas para resolver el problema de la inestabilidad tales como pantallas ancladas y suelos cosidos, así como el manejo de la escorrentía superficial con cunetas revestidas.

No obstante, algunas de las obras de control pasivo se aprecian insuficientes para sostener el volumen de materiales que puede colapsar desde las laderas (ej. tramo de la radial a Atenas). Es cuestión de tiempo para que los taludes de esas secciones colapsen provocando el cierre de la vía por varios días, así como la destrucción de las barreras instaladas en ese sitio.

Aunque la empresa tiene cuadrillas que realizan cierres rápidos de las vías durante eventos como caída de rocas y se tiene alguna señalización, esto pareciera no ser suficiente. Resulta entonces recomendable que se haga una evaluación integral adicional de la superficie de los taludes en la que se incluya el perfil geotécnico del terreno y sus condiciones de resistencia, susceptibilidad a erosión y deslizamiento. Esta evaluación debería tener como resultado el diseño de obras activas y pasivas, adicionales a las ya existentes, para controlar los problemas de inestabilidad, que se vayan ejecutando según una priorización a partir de un índice de riesgo asociado, o en forma paralela con varios frentes de trabajo.

Adicionalmente la concesionaria debería revisar el adecuado funcionamiento de las obras de manejo de agua y confirmar si se requieren modificaciones a ese sistema para que funcione de forma óptima. Por ejemplo, como resultado de esta evaluación se pudo detectar que no todas las cunetas y contracunetas están revestidas y que se deben construir más canales de desagüe con disipadores de energía. Con los resultados de la revisión integral de la estabilidad de los taludes se debería confirmar la necesidad de auscultar algunos de estos sitios mediante controles geodésicos o instrumentos más sofisticados como inclinómetros y piezómetros. Adicionalmente, puede ser requerido instalar instrumentos para la medición en tiempo real de la precipitación e implementar un sistema de alerta temprana que permitiría evitar accidentes y pérdidas humanas y materiales.

A pesar de lo anterior, es necesario reconocer que la concesionaria no ha sido completamente omisa en las acciones de estabilización y que, durante la construcción de la vía y actualmente, ha venido tomando acciones, en general apropiadas, para mejorar la condición de estabilidad de los taludes. Será necesario continuar con tales acciones para garantizar la estabilidad de la ruta a largo plazo.

En el presente reporte se hace una descripción geotécnica basada en la inspección visual de los taludes observados durante una inspección de campo realizada en marzo de 2010, así como las ideas principales de la comunicación con la empresa consultora que de forma ocasional realizó recomendaciones para algunas de las obras de la ruta. El documento incluye una descripción del problema, resultados de la reunión con profesionales de la empresa INSUMA S.A., resultados de las observaciones realizadas durante la visita de inspección geotécnica, conclusiones y recomendaciones.

2. Descripción del problema

Como se ha mencionado, en el Tramo II de la ruta 27, que fue inaugurada en enero del presente año, se han presentado problemas de inestabilidad. En este caso existe riesgo por caída de rocas en algunos puntos localizados que pueden provocar accidentes graves y, en el corto a mediano plazo, existe el riesgo de que terrenos alterados se desestabilicen o se produzcan fenómenos de erosión profunda que terminen afectando el índice de servicio, obligando al concesionario a realizar obras de estabilización de mayor costo y con la opinión pública en contra.

Existen múltiples evidencias del problema de caída de bloques que han sido documentadas por la prensa y aceptadas por el concesionario, al punto que a la fecha de inspección estaba realizando obras pasivas para controlar el fenómeno y que, para la fecha de edición de este reporte, ya se habían presentado dos eventos más, el último con consecuencias fatales para una persona. Por otro lado, la alteración del terreno donde se han realizado taludes en corte de la carretera producto del hidrotermalismo en la zona de Salitral es evidente y se nota en la superficie de los taludes.

En algunos tramos como la radial a Atenas y en menor medida en Balsa, es muy probable que el concesionario deba realizar obras activas contra el deslizamiento de taludes. En general, para la administración del riesgo es requerido que se valore la implantación de un sistema de alerta basado en la medición de la lluvia y de sacudidas sísmicas y su relación con la estabilidad de taludes.

La inspección geotécnica se realizó en el tramo que une la ciudad de San José desde el costado sur del parque La Sabana, hasta el Puerto de Caldera, ubicado en el pacífico central del país. El tramo en estudio se ubica aproximadamente entre las estaciones 14+000 hasta la 52+000 (38 kilómetros). El estacionamiento indicado es una referencia, no se puede considerar exacto porque se basó en las estaciones que están pintadas en algunas partes de la vía. Lo anterior debido a que no se obtuvo una copia digital o impresa de los planos. Se seleccionó este tramo porque es el que fue construido en su totalidad por Autopistas del Sol S.A. y es el tramo en el que desde febrero de 2010, a pocas semanas de haber sido inaugurada la carretera, se produjeron desprendimientos de rocas desde varios sectores que produjeron el cierre de la vía por unas horas, provocando malestar en los usuarios y reacciones de la prensa y la población en general e inclusive la muerte de una persona.

Los tramos entre San José – Ciudad Colón (14,2 km), y entre Orotina-Caldera (23,8 km), fueron mejorados y ampliados por el concesionario y no se han reportado problemas de estabilidad desde la inauguración de la ruta. Inclusive, desde hace varios años no se presenta este tipo de problemas en estos sectores, excepto por inestabilidad de algunos rellenos ubicados entre Orotina y la salida hacia Jacó. En la Figura 1 se muestra el mapa de la carretera, donde se puede apreciar su ubicación. La línea a puntos indica el tramo inspeccionado.



Figura 1. Mapa de la ruta 27 San José – Caldera (Fuente: <http://autopistasdelsolcr.com>)

Mediante la inspección geotécnica del Tramo II de la ruta y la entrevista realizada a profesionales de INSUMA S.A., se pretende conocer el estado actual de los taludes de la carretera antes del inicio de la época lluviosa en cuanto a su estabilidad y a la ejecución de estudios y acciones realizados para mitigar ese tipo de problemas, así como la comprobación de la implementación por parte del concesionario de recomendaciones de estabilización dadas por el consultor, para que la Dirección Ejecutiva del CFIA tenga bases técnicas para opinar sobre los problemas de estabilidad denunciados por usuarios y los medios de comunicación.

Los principales riesgos producto de la inestabilidad de los taludes de una carretera, son: la pérdida de vidas humanas, los daños materiales sobre la propiedad privada como terrenos, vehículos, productos y sobre obras de infraestructura como puentes, líneas de transmisión eléctrica o de telefonía y los daños ambientales. Los efectos de las inestabilidades en carreteras impactan a los usuarios en los tiempos de espera mientras se limpia la vía o se reconfirman taludes, impactan el costo del transporte de bienes y servicios y actividades productivas como la agricultura y el turismo, además de provocar el congestionamiento de otras vías de menor capacidad.

3. Objetivos y Alcance

El objetivo general del trabajo realizado fue confirmar el tipo de inestabilidad que se presenta a lo largo del tramo II de la ruta 27 realizar una evaluación general sobre las condiciones de inestabilidad global, para que el CFIA tenga elementos técnicos que permitan valorar de forma preliminar y desde un punto de vista cualitativo el nivel de riesgo asociado a sectores críticos de la carretera, por medio de una comprobación en el campo de la aplicación por parte del concesionario de acciones correctivas y preventivas en zonas de inestabilidad potencial a lo largo del tramo analizado.

Los objetivos específicos son:

- Verificar el alcance de las recomendaciones de la consultoría de la empresa INSUMA S.A. y la aplicación de las recomendaciones por parte del concesionario.
- Comprobar si el concesionario ha realizado obras de manejos de agua y de protección de las superficies de los taludes para controlar la erosión, que coadyuven a mitigar los problemas de inestabilidad.
- Confirmar si de acuerdo con las características geomecánicas de los materiales que constituyen los terrenos en los que se han realizado cortes de taludes, la pendiente y altura de los cortes, el concesionario aplicó técnicas de estabilización adecuadas para esas condiciones.
- Verificar si el concesionario realiza actualmente obras para corregir los problemas de caída de rocas denunciadas por la prensa y si realiza señalamientos viales preventivos en las zonas donde se han presentado los problemas.

El trabajo realizado incluye comentarios y recomendaciones basados en el criterio experto de profesionales dedicados a la ingeniería geotécnica y sus aplicaciones a la estabilización de taludes, a partir de las observaciones realizadas en una visita de inspección y la entrevista con profesionales de una de las empresas consultoras de la concesionaria. No incluye la realización de ensayos de campo y de laboratorio para caracterizar los materiales. Tampoco incluye análisis de estabilidad de ningún tipo o la verificación del diseño de alguna obra de estabilización.

Las limitaciones para realizar el trabajo son la falta de acceso a información técnica como estudios geológicos y geotécnicos del terreno y a los planos con el diseño de las obras. Otra limitación es que la inspección se realizó desde el nivel de la carretera, no se hicieron recorridos por las partes altas de los taludes. No se logró concretar ninguna entrevista con representantes de la concesionaria.

4. Metodología

La información se recolectó mediante observaciones directas del terreno a nivel de la rasante de la carretera. La investigación consiste de una inspección geotécnica y las valoraciones que se realizan son de tipo cualitativo. La información de entrada consistió de los artículos del periódico La Nación y la aportada en una entrevista a los ingenieros Gastón Laporte y José Pablo Rodríguez de la firma INSUMA S.A., consultora para algunos casos de inestabilidad del concesionario.

A lo largo del texto se explicará con detalle el resultado del trabajo realizado.

5. Contexto geológico

Con el fin de entender los problemas de estabilidad que se han presentado y se presentarán en el futuro a lo largo de la ruta 27, es importante ubicarse en el contexto geológico que atraviesa esta obra lineal, porque las características geotécnicas de cada formación geológica influyen en el comportamiento respecto de la estabilidad de los taludes excavados.

En el caso de esta obra lineal, las formaciones geológicas están constituidas por materiales de origen volcánico, en particular vulcanismo del Mioceno – Pleistoceno (Ref.4), que por la naturaleza de su génesis tienen una alta variabilidad en cuanto a sus propiedades geotécnicas. Entre los materiales volcánicos producto de este vulcanismo se incluyen tobetas, areniscas, brechas e ignimbritas de Mioceno – Inferior y Superior, lavas, tefras, ignimbritas y tobas del Pleistoceno (Ref.4).

Los macizos rocosos volcánicos son el resultado de múltiples eventos que se presentaron a lo largo del tiempo geológico, con periodos de calma de la fuente, seguidos de periodos de intensa actividad y con una gran diversidad de las secuencias de materiales de los depósitos. Adicionalmente, procesos de alteración como el hidrotermalismo, el tectonismo y la meteorización, han afectado la calidad mecánica de estos terrenos que son atravesados a lo largo del Tramo II de la ruta 27.

El comportamiento geotécnico asociado a este tipo de materiales es muy variable, debido a la heterogeneidad de los materiales y la anisotropía de sus propiedades, claramente observables en los cortes realizados para la construcción de la carretera. En este caso se ha determinado que los materiales como las brechas tienen una matriz pobremente cementada que le imprime a la roca una alta susceptibilidad a la erosión incluso en condición seca. Adicionalmente, las brechas las tobas y los tefras han sufrido alteración producto del hidrotermalismo que han producido zonas débiles respecto a la resistencia al corte dentro de la masa de roca y suelo. Esta disminución de las propiedades geotécnicas compromete la estabilidad de los taludes con las pendientes y alturas en que han sido cortados.

En el caso de las lavas e ignimbritas, la orientación de las fracturas es en la mayoría de los casos desfavorable a la estabilidad de los taludes y se observan modos de falla como el volcamiento y la formación de cuñas. En no pocas ocasiones, las coladas de lavas fracturadas y las ignimbritas sobreyacen a los materiales más blandos y aparecen en la parte más alta de los taludes, donde el tipo de inestabilidad que les caracteriza es más peligroso.

6. Trabajo realizado

A continuación se describe el trabajo realizado. Se incluyen comentarios sobre el alcance de la consultoría realizada por INSUMA S.A.

6.1 Reunión con profesionales de la empresa INSUMA S.A.

El 3 de marzo 2010 se realizó una reunión con los ingenieros Gastón Laporte y José Pablo Rodríguez de la empresa INSUMA S.A., que ha realizado consultorías para Autopistas del Sol S.A. y, en particular, para el proyecto de la ruta 27, con el fin de conocer el alcance de los trabajos realizados por la firma consultora en ese proyecto.

De acuerdo con lo indicado por los consultores, los trabajos realizados por la consultora consistieron en estudios técnicos ejecutados en el 2006, basados en investigaciones existentes, en consultorías aplicadas a tramos problemáticos de la carretera durante el 2008 conforme el concesionario avanzó en el proceso constructivo de la carretera y, de abril a noviembre de 2009, en la presencia permanente de un ingeniero de INSUMA en el proyecto que fue solicitado por Autopistas del Sol.

El alcance de dichas consultorías se limitó al levantamiento geotécnico de taludes con recomendaciones generales para que otras empresas realizaran los diseños. No todas las recomendaciones de los consultores de INSUMA S.A. fueron ejecutadas por el concesionario, puesto que, como es práctica común en el desarrollo de obras de ingeniería, el dueño de la obra puede realizar múltiples consultas y al final decidir por la que a su criterio es mejor. Por ejemplo, se nos informó que el concesionario utilizó los servicios del consultor español José María Rodríguez de CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, de España), que propuso soluciones como la construida por el concesionario en el sector del deslizamiento de Balsa, ubicado entre las estaciones (33+000 y 34+000) aproximadamente.

Entre los principales problemas geotécnicos que influyen negativamente en la estabilidad de los cortes que han reconocido los consultores del INSUMA a lo largo de esta vía están:

- La alteración hidrotermal del sector de Salitral y la heterogeneidad de los terrenos
- La gran variabilidad de los materiales atravesados por la carretera
- El potencial de degradación de los macizos rocosos volcánicos atravesados
- Los problemas de manejo de aguas por lo pronunciado de las pendientes y extensión de las laderas

Para el Ing. Laporte, el tramo II de la ruta 27 se puede dividir en dos sectores de comportamiento geotécnico diferente. El primer sector, de condiciones más favorables a la estabilidad, estaría comprendido entre Ciudad Colón y la salida hacia la radial a Atenas. El segundo sector, de condiciones de estabilidad desfavorables, es el que se ubicaría entre la radial a Atenas y la zona de Salitral. Las inestabilidades mayores en términos del volumen de terreno inestable, serían las ubicadas en la zona de Balsa y en la de Salitral. Una inestabilidad menor sería la caída de bloques (aunque capaz de producir accidentes graves y atrasos importantes para los usuarios) que, según Laporte, podría atacarse con un saneamiento de la superficie del talud del tipo “scaling” con chorro de aire y agua a presión.

Adicionalmente, según la información que tienen los consultores, el concesionario no ha concluido todas las acciones de mejora de estabilidad de los taludes, pese a que la carretera fue inaugurada desde finales de enero de 2010. Este aspecto fue uno de los puntos a confirmar durante la inspección que se realizaría posteriormente por parte de los autores de este informe. Adicionalmente, indicaron que a la fecha de inauguración de la carretera, el concesionario había invertido cuarenta millones de dólares en estabilizaciones.

Finalmente, los consultores mencionaron que un sistema de administración del riesgo basado en alerta temprana era requerido para la ruta 27 y que como parte de este sistema, era requerida la instalación de pluviómetros y otros equipos que permitan correlacionar lluvia y / o sismos con la estabilidad de los taludes. Los autores no tienen conocimiento de que tal sistema se haya instalado a esta fecha.

6.2 Inspección Tramo II Ruta 27 Ciudad Colón - Orotina

La inspección fue realizada el 5 de marzo de 2010 en compañía de los ingenieros Francini Fuentes Ocampo y Francisco Reyes del Departamento de Régimen Disciplinario del CFIA. Primero se recorrió la carretera desde Sabana Sur hasta Orotina sin hacer paradas pero reconociendo los sitios problemáticos y, posteriormente, se realizó el recorrido de Orotina a Sabana Sur haciendo paradas para valorar cualitativamente los problemas observados desde el nivel de la carretera, tomando fotografías y levantando puntos de observación con un GPS. Se describen a continuación algunos de los puntos evaluados:

6.2.1 Estación 47+960 Puente Salitral, margen izquierda

Este es un sector afectado por el hidrotermalismo que le imprime al terreno condiciones de resistencia heterogéneas, las cuales producen una importante variabilidad del comportamiento geotécnico de los materiales, que finalmente se traduce en problemas de estabilidad y de erosión diferencial (Fotografías 1 y 2). En este sector en particular se detectó la falta de acciones para controlar la inestabilidad y la erosión. Falta la construcción de cunetas y la protección de la superficie de los taludes. Inclusive, una reconfiguración de los taludes es requerida porque se observan “domos” entre cárcavas que han perdido continuidad lateral y se observan potencialmente inestables (se señalan con flechas en la Fotografía 1). Punto GPS 004.



Fotografía 1. Talud en terreno afectado por alteración hidrotermal. Nótese los surcos profundos de erosión. Durante la estación lluviosa la susceptibilidad a la inestabilidad de estos cortes será muy alta. Se nota la ausencia de obras de manejo de la escorrentía superficial.



Fotografía 2. Otra perspectiva del corte mostrado en la fotografía 1, viendo hacia el punto kilométrico 48+000. Nótese que se trata de un corte tipo cajón, donde los taludes a ambos lados de la carretera presentan alta variabilidad de las propiedades geotécnicas por efecto del hidrotermalismo.

6.2.2 Zona de inestabilidad, km 47

Aproximadamente cerca del km 47, el hidrotermalismo y las pobres condiciones geotécnicas de los materiales de la parte superior del talud produjeron un deslizamiento que afectó un tramo de vía férrea. El concesionario está realizando un viaducto de varias decenas de metros de longitud.

La obra requirió del uso de técnicas de estabilización activas y cimentación profunda para que pudiera ser apropiada para su función y para la seguridad del ferrocarril. El colapso del terreno obligó a detener el transporte por tren de personas y productos desde San José hasta Puntarenas, que recientemente fue puesto en funcionamiento por Incofer. No se tiene información sobre el costo de las obras, las pérdidas de Incofer o si hay alguna demanda del Estado contra el concesionario por este problema. Punto GPS 005.

Se pueden apreciar estas condiciones en las Fotografías 3, 4 y 5.



Fotografía 3. Vista desde la carretera de los trabajos que se realizan en las cercanías del km 47 para rehabilitar el paso del ferrocarril. Nótese las variaciones de los colores de la superficie del talud que evidencian la afectación por hidrotermalismo.



Fotografía 4. Detalle de la misma zona para apreciar las dimensiones de las obras que se realizan y las condiciones pobres de los materiales. Se han tenido que aplicar técnicas activas de estabilización.



Fotografía 5. Detalle de los materiales brechosos que componen los taludes frente a la zona de trabajos del viaducto para el ferrocarril. La matriz de las brechas es erodable, incluso por efecto del viento, lo que produce el desprendimiento de bloques de roca de tamaño centimétrico como los que se observan al pie del talud.

En estos terrenos, que son los que predominan entre Atenas y la zona de Salitral, la lluvia va a producir problemas de erosión mayores y la probabilidad de que ocurran problemas de estabilidad por colapsos progresivos originados por la erosión es alta. Adicionalmente, en ausencia de cunetas y bermas impermeabilizadas, la saturación del terreno producirá una disminución de la resistencia al corte de las brechas. Este tipo de comportamiento se está observando en los taludes de este sector con las lluvias de los últimos días del mes de mayo.

6.2.3 Sector de grandes bloques por caer en el talud interno de la carretera, km 46,5

Aproximadamente en el km 46,5 en el talud interno continúa la afectación del terreno por el hidrotermalismo (Fotografía 6). Algunos bloques de roca se han desprendido de las partes superiores de los cortes y amenazan con caer hacia la vía. Este sector requiere de obras de manejo de escorrentía, impermeabilización de bermas y protección de la superficie con geomantas para acelerar la revegetación o un material que permita controlar el efecto de degradación progresivo de los taludes por efecto de agentes como los cambios de temperatura y la lluvia.



Fotografía 6. Grandes bloques de roca con condiciones precarias de estabilidad en un sector de la carretera, ubicado a unos trescientos de metros después de la zona donde se construye el viaducto para el ferrocarril. Nótese el efecto del hidrotermalismo en los taludes y bermas. Punto GPS 006.

6.2.4 Zona con alteración hidrotermal en materiales brechosos, km 46

En este sector de la ruta 27 se pueden apreciar taludes de materiales brechosos con matriz erodable, poco compacta y bloques de roca decimétricos inmersos en la matriz, sin ninguna protección contra erosión (Fotografía 7). A unos cien metros antes de este sector, se aprecian otros taludes con protecciones de concreto lanzado que definitivamente mejoran la estabilidad superficial de los cortes y ayuda a controlar el desprendimiento de bloques.



Fotografía 7. Aspecto estable de un talud protegido con concreto lanzado ubicado 200 m antes de la estación 46+000. Nótese la altura importante del talud y la pendiente alta. No obstante, no se observaron evidencias de inestabilidad global, aunque no se tiene certeza de que se haya realizado remoción de bloques sueltos en las partes altas del talud, encima del tratamiento.



Fotografía 8. Aspecto de un talud en roca brechosa afectada por hidrotermalismo sin protección en la superficie y con alta pendiente y altura. Nótese los surcos de erosión que empezaban a aparecer a inicios de marzo en la matriz de la roca blanda. Se notan bloques decimétricos que se han desprendido de la matriz de la brecha. Al pie del talud existe espacio para la caída de los bloques pero faltan barreras para controlar la distancia y la energía con la que se proyectan a la vía.

En estos casos el uso de mallas de alta resistencia ancladas a la superficie del talud contribuye a controlar el desprendimiento de bloques (Fotografías 8 y 9). No obstante, una capa delgada de concreto lanzado y drenajes cortos es más efectiva contra la erosión. No se observaron evidencias de inestabilidad global en este talud.

Con la entrada de la estación lluviosa la superficie del talud puede alcanzar un grado alto de erosión, que podría promover un proceso de inestabilidad progresivo. Por lo tanto, la cobertura de estos taludes es una acción recomendable.



Fotografía 9. Otro aspecto de las condiciones del talud mostrado en la fotografía 8. Nótese la obra de manejo de aguas que consiste de una bajada con disipador de energía de la cuneta ubicada sobre la parte alta del talud. Este tipo de acciones es fundamental para controlar la saturación del terreno y mejorar la estabilidad.

Una acción muy conveniente es la construcción de canales de desagüe del talud, como el que se aprecia en la Fotografía 9, en particular con disipadores de energía. La disposición adecuada del agua de escorrentía superficial es un tema central en la estabilidad de los taludes.

6.2.5 Margen izquierda Puente Concepción, km 45,2

En este sector, el talud rocoso está afectado en menor grado por el hidrotermalismo, pero existe un juego de discontinuidades con buzamiento favorable para el volcamiento de bloques de roca del talud (Fotografías 10 y 11). En el talud no se han implantado acciones correctivas del problema. Punto GPS 007.



Fotografía 10. Talud rocoso afectado levemente por hidrotermalismo. Nótese las dimensiones de los bloques que se desprenden con respecto del vehículo parqueado en la vía. A inicios de marzo no se observaron acciones para control de caída de rocas.

Aunque la caída de bloques hasta ahora ha sido local, por el grado de fracturamiento del macizo es factible que a mediano plazo y por efecto de la lluvia o de un sismo, ocurra una caída de bloques en masa, con un mayor volumen de material involucrado.

Este caso en particular presenta condiciones de estabilidad en las que se requeriría cubrir la superficie del talud mediante una acción de carácter permanente, tal como el concreto lanzado reforzado con mallas o fibras y perforaciones cortas de drenaje.



Fotografía 11. Se muestra una perspectiva más amplia del talud de la fotografía 10, donde se puede notar que la zona de disparo de bloques es más extensa. Durante la inspección se detectó desprendimiento de rocas centimétricas que pueden llegar a la vía produciendo un accidente lamentable o pérdidas materiales. Se requieren acciones sobre el talud para controlar el problema. Nótese que no entre el pie del talud y la cuneta no hay un espacio o área que permita amortiguar la energía de una roca cayendo desde el talud, o una barrera que controle su trayectoria.

6.2.6 Tratamientos contra caídos de rocas en margen izquierda, entre km 45,4 y km 44,2

En el sitio que se muestra en la fotografía 12, en el talud interno, se presenta una condición geotécnica más favorable que en el talud externo, pero tiene asociada una problemática de estabilidad. El concesionario ha realizado acciones pasivas (mallas sobre el talud) para controlar la caída de rocas. Punto GPS 008. No obstante, sobre la berma no se han realizado acciones donde se ubican potenciales puntos de disparo de rocas.



Fotografía 12. Macizo rocoso fracturado con un juego de discontinuidades con buzamiento favorable al volcamiento conjugado con otro juego de discontinuidades sub horizontal que promueve la caída de rocas. Se aprecia un tratamiento con mallas para control de caída de bloques ancladas a la superficie del talud.

En este caso, no se realizó un tratamiento similar en el talud sobre la berma y, aunque la función de ésta es servir como espacio para amortiguar y eventualmente detener la caída de bloques del talud superior, no necesariamente esa función está garantizada debido a que la berma tiene poco ancho. En estos casos se deben realizar análisis de caída de bloques para estudiar la trayectoria y energía de las rocas con el fin de dimensionar adecuadamente protecciones pasivas, tales como las mallas y barreras. Para este caso en particular es muy probable que falte una barrera en el borde sobre la berma.

6.2.7 Talud con condiciones geotécnicas adversas, entre km 45,2 y km 44,2

En este sector existe un cambio litológico y mayor afectación del proceso de hidrotermalismo que le ha impreso al terreno unas condiciones geotécnicas pobres. Esto se evidencia en la geometría con quedó cortado el talud, que no obedece a una definición geométrica favorable para la construcción de obras de manejo de aguas o para la conformación de bermas bien definidas (Fotografía 13).



Fotografía 13. Talud afectado por hidrotermalismo intenso. La geometría final evidencia que durante el proceso constructivo hubo problemas de estabilidad. Adicionalmente existe un plano con inclinación desfavorable a la estabilidad sobre el que hay un importante volumen de roca blanda.

Durante la estación lluviosa es muy factible que se presenten problemas de inestabilidad en este talud, involucrándose un importante volumen de material. Es recomendable que en este sector el concesionario se prepare para realizar trabajos de estabilización que contemplen el rediseño geométrico del talud y análisis geotécnicos mediante los que se pueda definir los tratamientos del terreno requeridos.

6.2.8 Caída de rocas de ignimbrita fracturada, km 44,4

En este talud de unos 40 a 60 m de longitud, se observa que sobre las brechas hidrotermalizadas hay un estrato de ignimbritas fracturadas con un juego de fracturas verticales que se constituyen en un punto de disparo de rocas desde la parte superior del talud. Las flechas en la Fotografía 14 señalan los puntos donde el potencial de caída de bloque es alto.

La única acción que ha realizado el concesionario es colocar una barrera de elementos de concreto prefabricados de poca altura. Por las condiciones geométricas del talud como la altura y la pendiente, el desprendimiento de una roca o un volumen de rocas, un análisis cinético de caída de rocas es muy

probable permitiría demostrar que la altura de la barrera es insuficiente para evitar que los bloques lleguen hasta la carretera.

Adicionalmente, por el efecto de la alteración hidrotermal, la superficie del talud se deteriorará producto de la erosión. Unos surcos de ese fenómeno se observaron durante la visita y esa situación se agravará con el paso del tiempo y la llegada de la estación lluviosa. Punto GPS 009.



Fotografía 14. Talud con punto de disparo de rocas desde la parte superior, y potencial de erosión alto debido al hidrotermalismo. Nótase que la única acción realizada por el concesionario fue la colocación de una barrera de poca altura de elementos prefabricados.

6.2.9 Tratamiento incompleto de un talud, km 44,2

En la Fotografía 15 se observa un tratamiento con concreto lanzado bien logrado, que incluye drenajes sistemáticos y que en apariencia se dejó inconcluso. Este caso se incluye para mostrar que existe capacidad para hacer obras bien realizadas. Punto GPS 010.

Sobre la roca fracturada aparece un estrato de material similar al toba, y no se observan acciones como manejos de agua con contra cunetas.



Fotografía 15. Ejemplo de un talud con un tratamiento bien logrado y en apariencia inconcluso.

6.2.10 Relleno en el borde externo y tratamiento de talud incompleto, Km 40 a km 39

El relleno del sector conocido como Poncho Mora se observó con problemas de erosión con cárcavas de dimensiones considerables (Fotografías 16 a 18), que pueden avanzar hacia la calzada si no se realiza una reconfiguración, manejo de aguas y una cobertura adecuada para controlar el problema de erosión. La falta de impermeabilidad en la parte superior del talud de relleno permite la saturación y en consecuencia la disminución de la resistencia del material.

La falta de acciones puede llevar a que se produzca un problema de inestabilidad generalizada en este tramo de la carretera. Punto GPS 011.



Fotografía 16. Se muestra una cárcava de erosión que empieza a profundizar en el terreno. Nótese que las dimensiones del problema son considerables.



Fotografía 17. Aspecto del talud del relleno. Nótese la altura del relleno, los surcos de erosión que pueden degenerar en cárcavas, y la ausencia de impermeabilización de la cresta del relleno y de manejo de aguas.



Fotografía 18. Panorámica de la zona de alteración hidrotermal desde el relleno del sector conocido como Poncho Mora. Se observa la altura de la ladera en la que se han realizado los cortes de taludes en materiales de condiciones geomecánicas pobres.

En la Fotografía 19 se muestra un problema de inestabilidad en la parte superior del talud interno en la zona donde se ubica el relleno comentado antes. Nótese que se realizó un trabajo de estabilización y protección del talud de brechas volcánicas, pero en la parte superior se aprecian fracturas abiertas por descompresión, y una cuña de material que ya falló.

La porción de macizo inestable está en una posición más alta del talud, donde la energía potencial es muy alta. También se nota la ausencia de manejo de la escorrentía. Un colapso progresivo de esta porción del terreno tiene alta probabilidad de ocurrencia, con posibilidad de que ocurra un accidente lamentable. La única acción que se observa es la colocación de una barrera liviana en el borde de la carretera.



Fotografía 19. Parte superior con evidencias de descompresión de un talud con altas posibilidades de colapsar y ocasionar un accidente.

6.2.11 Ejemplo de desagregación de matriz de roca volcánica, entre km 40 y km 38,5

El fenómeno de desagregación o erosión de la matriz en la roca volcánica afectada por hidrotermalismo es común en las formaciones geológicas volcánicas constituidas por brechas que son atravesadas por la carretera. Este fenómeno ocurre incluso en seco por la acción del viento y el producto de la erosión de la matriz del terreno se observa al pie de los taludes (Fotografía 20). El problema se va a potenciar con las lluvias intensas de la estación lluviosa.

Las consecuencias de este problema será el arrastre de sedimentos, la colmatación de los sistemas de drenaje como cunetas y tragantes, la pérdida de confinamiento de los bloques de roca dentro de la brecha y la consecuente caída de bloques, la formación de surcos de erosión y posteriormente la formación de cárcavas profundas. Recuérdese que en los terrenos afectados por alteración hidrotermal, las propiedades geomecánicas del material como la resistencia y la permeabilidad tienen una gran variabilidad dentro de la masa y hay zonas donde esas propiedades son pobres a muy pobres, generándose zonas débiles. Por lo anterior, los procesos de erosión y de inestabilidad pueden concentrarse en esos sectores.

Por tanto, es factible que en una sola lluvia torrencial, en un talud como el mostrado los procesos mencionados se formen aceleradamente en algunos sectores, dejando cicatrices donde la vulnerabilidad a la inestabilidad queda latente, a la espera de otra lluvia para manifestarse. Según han mostrado todos los medios noticiosos, especialmente en los televisados, con el inicio de la época lluviosa estos fenómenos ya se están presentando en este sector de la carretera.



Fotografía 20. Se observa el problema de degradación de la matriz de los materiales brechosos, incluso en condiciones secas, por efecto del viento y de los cambios de temperatura. Las flechas señalan los sedimentos acumulados al pie del talud. Punto GPS 013.

6.2.12 Caídos desde zona alta sin tratamiento del talud, km 38,56

En este punto kilométrico de la carretera se tuvo la oportunidad de observar los trabajos de limpieza de materiales caídos desde el punto más alto del talud (Fotografía 21). La mayor parte de la superficie del talud se protegió con concreto lanzado reforzado con malla electrosoldada y con tratamiento de subdrenajes, pero la parte superior se dejó sin protección o tratamiento y una cuña de terreno se deslizó cayendo en la carretera como se puede observar en la Fotografía 22. Se nota una acción rápida de limpieza del derrumbe con algún grado de señalamiento. No obstante, en la estación lluviosa es

peligroso realizar procesos rápidos de limpieza por el riesgo que correrían los trabajadores. Punto GPS 014.

El problema de inestabilidad es similar al mostrado en la Fotografía 19 de otro sector de la carretera, demostrando que es muy probable que el anterior llegue a colapsar.



Fotografía 21. Cuadrilla de limpieza en la operación final de barrido de la calzada. Este proceso implicaría un alto riesgo para los trabajadores durante la estación lluviosa, trasladándose el riesgo para los usuarios de la carretera.

Es recomendable que en este sector se tomen acciones sobre la parte superior del talud, puesto que ya quedó una cicatriz una cicatriz de la ruptura con unos taludes laterales que se desestabilizaran en cualquier momento, en especial bajo la acción de la lluvia o un sismo.



Fotografía 22. Se muestra la cuña de material que colapsó. El cambio de pendiente no fue una medida suficiente para que el terreno no colapsara.

6.2.13 Tratamiento bien logrado de un talud, km 37,5

Como ejemplo de que hay obras donde el concesionario ha realizado obras que dan una sensación de seguridad al usuario y que en opinión de los autores reúnen condiciones que podrían garantizar la estabilidad del terreno, se muestra en la Fotografía 23 el trabajo realizado en el punto kilométrico 37+500. En apariencia se procuró proteger un paso ferroviario.



Fotografía 23. Tratamiento del talud con acciones activas y pasivas.

6.2.14 Tratamientos con malla contra caídos en roca brechosa, entre km 38 y km 37

Durante la visita, se observaron acciones sobre el talud de roca volcánica donde ocurrió el primer fenómeno de caída de bloques en febrero pasado. Se estaba colocando una malla de alta resistencia de doble torsión, anclada contra el terreno con pernos cortos. Punto GPS 016.

La malla, que es un elemento de estabilización pasiva, tiene incluido un geotextil que permite controlar la caída de bloques que pueden pasar a través de ella. En las Fotografías 24 y 25 se puede notar la gran altura del talud y del área expuesta. El problema ocurre cuando la matriz de la brecha que ya se ha mencionado que es sumamente erodable, es lavada por la lluvia y los bloques simplemente pierden el confinamiento y se precipitan sobre el talud alcanzando la calzada de la carretera.

Es un problema menor porque no se trata de una inestabilidad global, pero puede producir accidentes que lamentar o daños materiales serios. Las labores de cobertura del talud son peligrosas para los trabajadores y se requiere de personal experto en trabajo con cuerdas en alturas. El concesionario realizó una señalización con barreras livianas y el cierre de un carril.

El geotextil para controlar la salida por los agujeros de la malla de las rocas más pequeñas, tiene una vida útil que es función de su resistencia a los rayos ultravioleta, por lo que al cabo de un tiempo, cuando el geotextil se degrade, se puede presentar de nuevo la caída de esos bloques más pequeños.



Fotografía 24. Trabajos de cobertura de la superficie del talud con problemas de caída de rocas por lavado de la matriz de la brecha. Nótese la altura y dimensiones del talud comparado con los trabajadores que se señalan con las flechas.

En este caso la respuesta del concesionario fue reactiva, debido a la presión de la prensa y del público. Lo ideal es que se contrate una consultoría en geotecnia para que le recomienden y diseñen los sistemas de protección pasiva y activa que a largo plazo permitan controlar los distintos problemas de estabilidad que se presentan en esta carretera y que los mismos se realicen de una manera sistemática y previsoría.



Fotografía 25. Otro aspecto de los trabajos de cobertura de la superficie del talud con la malla de doble torsión. Nótese las condiciones de trabajo de los trabajadores que realizaban la instalación. En el talud descubierto se pueden apreciar las rocas duras inmersas en la matriz de la brecha y su tamaño variable.

6.2.15 Talud con acciones de drenaje pero sin protección contra erosión, antes del km 33

En el talud que se muestra en la Fotografía 26 (punto GPS 017), se notan los efectos de la erosión y de la alteración hidrotermal en la variabilidad de las condiciones mecánicas del talud. Las zonas más débiles han empezado a presentar colapsos locales como el que se muestra con la flecha azul. Por otro lado la susceptibilidad a la erosión de la matriz, inclusive en seco, es señalada con la flecha marrón. Finalmente, una práctica de buena ingeniería se observa al pie del talud y consiste de subdrenajes para abatimiento del nivel freático, que se señalan con la flecha negra.

En este talud es muy probable que se presenten problemas de erosión profunda por efecto de las lluvias intensas de la estación lluviosa, ya que se nota una susceptibilidad alta a la erosión.



Fotografía 26. Talud de roca brechosa alterada, con matriz erodable. Nótese el trabajo de drenaje que probablemente funcionó durante el proceso constructivo y que será vital en el período lluvioso. También se observa el sedimento acumulado por la erosión en seco.

6.2.16 Zona de inestabilidad a la altura de Balsa, entre km 33 y km 34

En este tramo (Punto GPS 018), la carretera atraviesa una zona de inestabilidad global en el deslizamiento de Balsa. El concesionario construyó un relleno de bastante espesor con el que incrementó el esfuerzo normal sobre el terreno que se deslizaba y, con esto, la resistencia al corte.

Conceptualmente el problema podría estar resuelto, pero este es un tramo donde se deben hacer observaciones periódicas de los desplazamientos horizontales y verticales para corroborar que no se mueve.

En el talud de corte, puede observarse que la matriz de la brecha es muy erodable (Fotografía 27).



Fotografía 27. Aspecto de un tramo del relleno que se construyó como solución a la zona de inestabilidad de gran magnitud a la altura de Balsa.

6.2.17 Inestabilidad de los taludes rocosos de la radial a Atenas

En el tramo de corte tipo “cajón” en la radial a Atenas (Punto GPS 019), durante la inspección se observaron problemas de estabilidad muy importantes en ambos lados de la vía (Fotografía 28). Una condición notable es que las pendientes naturales de las laderas cortadas son mucho más bajas que las de los cortes realizados, evidenciando que la calidad de los materiales produjeron naturalmente esas pendientes naturales.

En el lado izquierdo en el sentido de avance hacia Atenas, se observaron escarpes y grietas producto de deslizamientos escalonados del terreno en varios niveles en las partes altas de la ladera natural y una condición de terreno descompresionado, evidenciado en fracturas abiertas en los cortes realizados. Se aprecia claramente la zona deslizada.

En el lado derecho (Fotografía 29) se observó que han ocurrido colapsos locales, probablemente durante el mismo proceso constructivo, que dejaron tramos de talud hasta con pendiente inversa. La amenaza de caída de bloques métricos está latente en este sector. A ambos lados hay un espacio de 2 m a 3 m al pie del talud que en algunos sectores ya está lleno de material colapsado, que funciona para amortiguar la caída de material. El concesionario construyó una barrera de protección con vigas H,

pero cerrada con una malla tipo ciclón, incapaz de contener un volumen de rocas y suelo importante. En las Fotografías 28 a 30 se ilustra la problemática de estabilidad observada y las obras pasivas realizadas por el concesionario.

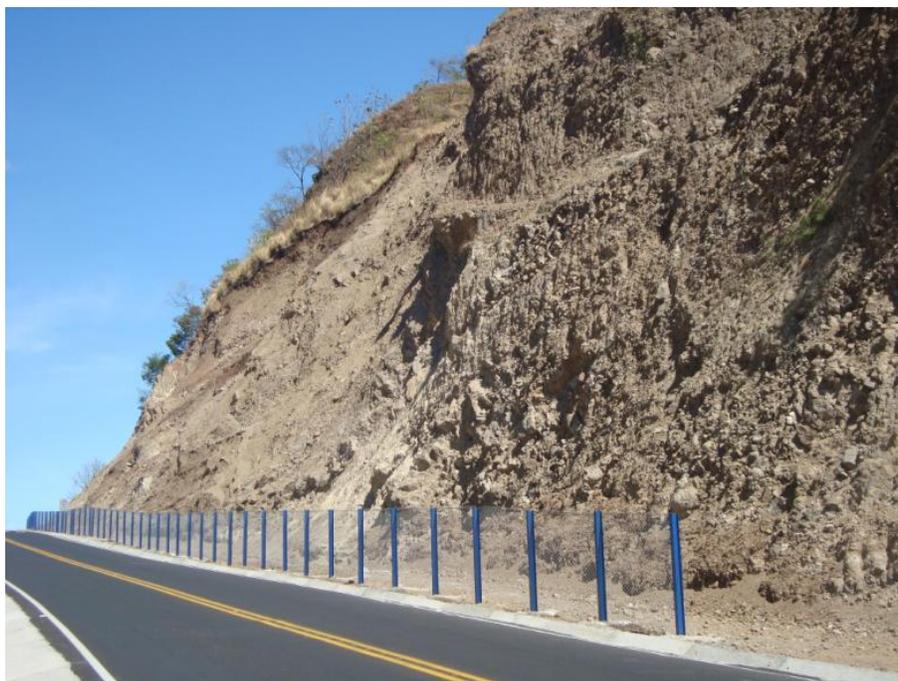


Fotografía 28. Inicio del tramo de corte “cajón” en la radial a Atenas. Nótese el rótulo advirtiendo de la caída de rocas, y una barrera colocada a lo largo del tramo a ambos lados. Ambas medidas no parecen ser suficientes para el problema de estabilidad observado.

Según se observó, la problemática de estabilidad en este tramo puede ir más allá que la caída de rocas. Es de esperar que durante los meses más lluviosos se presenten constantes problemas de caída de volúmenes importantes sobre la carretera ya que la barrera no tendrá la capacidad de soportar el empuje de la masa de suelo y rocas.



Fotografía 29. Aspecto de un sector del tramo inspeccionado. Nótese las pendientes inversas que se han generado producto del colapso de taludes. La altura y características de la barrera no parece ser suficiente para contener los volúmenes de roca y matriz de brecha que se desprenderán de las superficies de los taludes.



Fotografía 30. Aspecto de las condiciones geotécnicas y de estabilidad de los taludes del lado derecho de la radial. A la fecha de la visita aún se conservaba la barrera intacta y el espacio entre el talud y la barrera limpio. No obstante, es de esperar que los problemas de estabilidad se manifiesten con el tiempo, y en la estación lluviosa. Como es típico en los materiales de la zona, se observan sectores con características geotécnicas más débiles.

6.2.18 Taludes de ignimbritas, después del cruce del puente sobre río Virilla hacia Caldera

Existen al menos dos zonas (Punto GPS 021), donde el camino atraviesa por este tipo de materiales que consisten en rocas duras con juegos de discontinuidades verticales a sub verticales, conjugados con otros sub horizontales, formando columnas de roca de tamaño métrico y decimétrico. El modo de falla de los taludes es por volcamiento de las columnas de roca que pueden caer a ambos lados de la vía.

La altura de los taludes no es tan significativa pero la dimensión de las columnas de roca si lo es. Por la densidad del material, el impacto de un vehículo con un caído de este tipo puede tener consecuencias fatales. Por otro lado, el vuelco de una columna de roca o de un bloque cúbico, se proyectaría directamente sobre la carretera porque el espacio entre el talud y la cuneta es muy reducido.



Fotografía 31. Aspecto de taludes de roca volcánica con discontinuidades verticales que forman prismas de roca. El impacto contra un objeto de estas dimensiones podría tener consecuencias muy graves.

En este tramo es recomendable hacer un tratamiento pasivo con una malla de alta resistencia contra caídos, anclada al talud para prevenir accidentes.

7. Análisis geotécnico

7.1 Comportamiento esperado de la obra

Dadas las características geotécnicas tan variables de los materiales volcánicos atravesados por esta obra lineal a los largo de los 38 km inspeccionados, es de esperar que se presenten problemas de estabilidad de diversa índole y que ya han empezado a manifestarse, principalmente con la lluvia como agente de disparo, pero que posiblemente responderán de forma similar ante sollicitaciones sísmicas.

La zona ubicada desde poco antes de la radial a Atenas y el sector de Salitral hasta antes de Orotina, es una zona sumamente vulnerable al efecto de la lluvia debido a que las condiciones geotécnicas de los materiales que componen los taludes fueron muy afectadas por la alteración hidrotermal que produjo una gran variabilidad de esas propiedades, en particular la resistencia al corte y el grado de cementación de la matriz de materiales como las brechas. En este sector se espera que en el corto y mediano plazo se presenten problemas de estabilidad de diversa magnitud pero que deben empezar a ser estudiados y corregidos con diseño geotécnicos basados en las características de dichos materiales.

En este sector también hay algunos rellenos de gran volumen que pueden verse afectados por la falta de medidas de protección de sus taludes, así como por la falta de un buen manejo de aguas en la cresta y el pie de los taludes.

En algunos sectores el concesionario ha realizado obras bien logradas, que se espera funcionen bien durante la época lluviosa y tengan un buen comportamiento en el tiempo. En otros sectores, hay obras donde no se completaron los tratamientos con concreto lanzado, en particular en las partes más elevadas de los taludes donde ya han ocurrido colapsos de materiales hacia la carretera.

Los problemas de estabilidad por caída de bloques ocurren en tramos de lavas fracturadas, brechas con matriz pobremente cementada o ignimbritas que se vuelcan. Todos estos problemas se pueden controlar con sistemas pasivos de soporte o contención que permitan dirigir o controlar la caída de rocas. El concesionario ha realizado algunas obras en ciertos sectores pero es definitivo que deberá ampliar estos tratamientos a otras zonas donde es evidente que se presentará este tipo de inestabilidad. A la fecha, ya han ocurrido accidentes producto de la caída de rocas que en un caso produjo la muerte de una persona.

En muchos de los cortes de talud se observan manejos de agua con cunetas, contra cunetas y bajadas de agua con disipadores, pero en otros la ausencia de estos es notable y esa ausencia de obras civiles como parte integral de la carretera provocará problemas de erosión que se pueden agravar por las pobres condiciones geotécnicas de algunos materiales.

Es evidente que el ancho del derecho de vía es limitado en este caso y que esta limitación producto en parte por las dificultades legales de las expropiaciones, ha producido que los taludes se cortaran con pendientes y alturas que por sus condiciones geotécnicas no son soportados. No obstante, hay sectores del tramo analizado, donde el refuerzo del terreno hubiese sido de todas formas requerido, pues no bastaría simplemente con tender más los taludes para garantizar su estabilidad.

7.2 Identificación de riesgos geotécnicos

Los principales riesgos geotécnicos son el deslizamiento de taludes en macizos rocosos alterados hidrotermalmente que involucren volúmenes importantes de rocas y suelo, la inestabilidad local por caída de rocas que puede provocar accidentes que lamentar, demandas de los usuarios contra el concesionario y el pago de daños a las víctimas, el colapso local o global de grandes rellenos sin protección en sus taludes donde se presentan ya evidencias de surcos de erosión y cárcavas profundas.

Todos estos riesgos pueden generar pérdidas importantes para el concesionario por cierres de la carretera y pérdidas de tiempo y materiales para los usuarios de la carretera por la interrupción del transporte de productos, insumos y personas. Además, es posible que se produzcan reclamos legales ante tales situaciones.

7.3 Soluciones geotécnicas

Muchas de las soluciones geotécnicas que se han aplicado en la ruta 27 han sido apropiadas. Estas incluyen sistemas de refuerzo pasivos y activos, drenajes, cubrimientos con concreto lanzado reforzado con malla, recubrimiento con mallas ancladas y cunetas revestidas. Existen muchos casos en que las soluciones han sido satisfactorias y adecuadas.

La limitante principal de las soluciones aplicadas estriba en las áreas tratadas. Es decir, hay zonas donde el tratamiento es efectivo pero se dejaron zonas aledañas sin tratamiento que deberán ser completadas.

Por otra parte, en lo que se refiere a las barreras de contención, estas suelen ser efectivas bajo ciertas condiciones y siempre que se diseñen y construyan apropiadamente. En el caso de la ruta 27, las barreras de este tipo se construyeron sin cables y con malla tipo ciclón. Por lo tanto, su capacidad como elemento de contención es muy limitada. Se aclara, sin embargo, que los autores desconocen si estas barreras fueron colocadas con el propósito de contener el material caído o solamente como una

división. En cualquier caso, se pueden instalar verdaderas barreras de contención en diversos puntos de la ruta, como una alternativa válida.

Otro detalle a completar es la construcción de cunetas y contracunetas revestidas. En muchos de los casos - diríase la mayoría -, existen cunetas y contracunetas, pero no en todos esos casos están revestidas con concreto. Esta tarea debería completarse. En algunos otros casos, aún están por construirse las cunetas. El manejo del agua de escorrentía superficial es fundamental para garantizar la estabilidad.

Finalmente, diversos casos se resolverían con una protección superficial contra la erosión del talud, sea con concreto lanzado u otros materiales.

8. Conclusiones

A partir de la entrevista realizada y la visita de inspección en campo, utilizando el mejor criterio disponible y discusión técnica sobre las condiciones de la ruta 27, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. La zona por la cual se ha construido el tramo II de la ruta Ciudad Colón - Orotina, es sumamente compleja desde un punto de vista geológico - geotécnico. Las condiciones geotécnicas pobres a regulares de los terrenos volcánicos no soportan las pendientes y alturas con las que han sido excavados los taludes, en particular bajo la acción de eventos lluviosos. El efecto de la alteración hidrotermal entre Atenas y el sector de Salitral ha producido zonas de debilidad con alta susceptibilidad a la erosión y a la inestabilidad, por lo que la probabilidad de que a corto y mediano plazo ocurran deslizamientos en esa zona es muy alta.
2. Se desprende de lo anterior, que cualquier corte realizado en ese tramo, podría tener condiciones de inestabilidad que deben ser atendidas oportunamente con medidas adecuadas de excavación, soporte, contención y drenaje.
3. Las dificultades legales en la expropiación de terrenos imponen restricciones geométricas que impiden en algunos casos la excavación con taludes de pendiente suave. Esto afecta negativamente la estabilidad de los mismos.
4. La concesionaria ha procurado la asesoría de diversas empresas consultoras y especialistas en geotecnia que han realizado propuestas de solución para garantizar la estabilidad de los taludes. Muchas (no todas) de las soluciones sugeridas han sido construidas por la concesionaria de manera correcta.
5. Las obras de manejo de agua como cunetas, contra cunetas y bajadas de agua con disipadores no han sido realizadas en todos los cortes, aunque si están presentes en una buena cantidad de ellos. Hay una cantidad importante de estas obras que no han sido revestidas y tampoco se han revestido con

concreto las bermas y las crestas de los taludes con el fin de impermeabilizarlas y controlar así la saturación de los materiales.

6. En algunos de los casos, los tratamientos aplicados, aún siendo apropiados, no han abarcado todas las zonas que lo requerían. Esto provoca que aún existan condiciones en algunos sitios tendientes a producir inestabilidades locales, principalmente caída de rocas.

7. Se aprecia una actitud interesada de solucionar los problemas, por parte de la concesionaria, que ha estado tomando acciones correctivas. Aún así, estas podrían estar siendo insuficientes en las condiciones meteorológicas que impondrá la época lluviosa de este año y los siguientes.

8. El concesionario mantiene cuadrillas de limpieza de caídos desde que se manifestaron los problemas de caída de rocas en febrero pasado, no obstante, la cantidad de trabajos realizados a la fecha son insuficientes dado que ha tenido que cerrar la carretera con solo que ocurran lluvias típicas de la época. Aún no ocurren lluvias torrenciales características de meses como setiembre y octubre, por lo que es de esperar que en esos eventos ocurran muchos problemas de estabilidad, cierres de a vía, reduciendo el índice de servicio de la vía y provocando daños a la propiedad producto de los caídos.

9. Existen rellenos de más de 10 metros de espesor cuyos taludes no han sido suficientemente protegidos. Faltan manejos de agua, impermeabilización de la cresta de los rellenos y cobertura de la superficie de los taludes. Se observaron cárcavas de erosión en esos taludes, que si no se protegen avanzarán de forma progresiva dañando la estructura del relleno.

10. Uno de los tramos de la carretera donde la probabilidad de deslizamientos globales es muy alta, es en la radial a Atenas. El corte tipo “cajón” que se ha realizado en materiales de pobres condiciones geotécnicas muestra problemas de estabilidad a ambos lados de la vía. Las barreras colocadas no tienen capacidad para contener el volumen de material que colapsará.

11. Se pudo apreciar que hay tratamientos correctivos que están en proceso de ejecución. Mientras no se concluyan, no se puede garantizar una operación sin riesgo en la ruta. Los autores desconocen los alcances finales de los tratamientos que realizará la concesionaria.

12. No existe, según el conocimiento de los autores, un sistema de alarma temprana basado en recolección directa de las magnitudes de las precipitaciones, que permita alertar oportunamente a los conductores o cerrar la vía durante los períodos de riesgo, de manera que se eviten accidentes.

13. El alcance de esta inspección no permite aseverar que no ocurrirán deslizamientos globales en algún sitio de la ruta, pues para ello se requiere mayor investigación. A pesar de eso, se puede indicar que no se apreciaron problemas evidentes de inestabilidad global. Por otra parte, por las condiciones geotécnicas del terreno cabría la probabilidad de ocurrencia de eventos de ese tipo.

14. Existen condiciones de inestabilidad local, que provocan la caída de bloques de roca, hasta métricos, sobre la calzada. En otros casos, hay procesos erosivos no controlados aún ("ravelling"). Ambas condiciones implican riesgo para el tránsito de vehículos en la ruta, de manera que resulta indispensable atender esas situaciones.

15. Se considera que, con una adecuada gestión de un buen sistema de alarma y con acciones continuas y sistemáticas de mejoramiento, el tránsito por la vía puede mantenerse, aceptando riesgos razonables. Sin embargo, cabe resaltar que la estabilización permanente de la vía aún no se ha alcanzado y se debe proseguir con los mejoramientos de los taludes.

16. Bajo la acción de sacudidas sísmicas de magnitudes altas, la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos es alta a lo largo de toda la vía. En particular, la caída de rocas sería un fenómeno que se presentará en esas condiciones dinámicas. Sin embargo, sería necesario realizar un estudio específico de amenaza sísmica para esta obra, el cual, si ya ha sido realizado, no fue del conocimiento de los autores.

9. Recomendaciones

La gestión del riesgo de caídos en la carretera es lo más importante en este momento para lograr la seguridad del tránsito en la ruta 27. Se ofrecen las siguientes recomendaciones:

1. Instalar un sistema automatizado de monitoreo de las condiciones meteorológicas, principalmente las precipitaciones.
2. Ligar el sistema de monitoreo a un sistema de alarma temprana que permita advertir de los riesgos a los usuarios y, en casos bien definidos, cerrar incluso la vía como medida preventiva.
3. Instalar y mantener un sistema de monitoreo de deformaciones en las zonas problemáticas.
4. Mejorar la señalización, iluminación y el sistema de comunicación (rótulos dinámicos informativos) hacia los usuarios de la vía.
5. Continuar con las acciones ya recomendadas de estabilización de laderas. Dar prioridad a las zonas de mayor riesgo que requieren tratamiento urgente.
6. Extender los tratamientos que han sido efectivos hacia las zonas que aún presentan riesgo.
7. Realizar una revisión y evaluación geotécnica detallada de los sitios de riesgo, sean asociados a inestabilidad local o bien a estabilidad global, que tenga como resultado los diseños detallados de las soluciones geotécnicas correctivas.

10. Referencias

1. Mata B., Alonso. “Empresa no descarta más derrumbes en vía a Caldera”. La Nación digital. (San José, C.R.), 23 de febrero, 2010.
2. Díaz Luis Edo. “Lluvia causa otra caída de rocas en vía a Caldera”. La Nación digital. (San José, C.R.), 23 de mayo, 2010.
3. Mata B., Alonso. “deslizamientos en ruta Caldera dejan al menos tres heridos”. La Nación digital. (San José, C.R.), 24 de mayo, 2010.
4. Denier, P y Alvarado, G. Mapa geológico de Costa Rica 2007, escala 1:400 000. Librería Francesa. Mapa oficializado por la Dirección de Geología y Minas, MINAE.

11. Reconocimientos

Informe elaborado por:	Ing. Marlon Jiménez Jiménez Ing. Marco Tapia Balladares, M.Sc.
Informe revisado y aprobado por:	JUNTA DIRECTIVA ASOCIACIÓN CONSTARRICENSE DE GEOTECNIA Ing. Marlon Jiménez Jiménez - PRESIDENTE Ing. Marco Tapia Balladares - VICE PRESIDENTE Ing. Ana Lorena Monge Sandí - SECRETARIA Ing. Victorino Ramírez Murillo - TESORERO Ing. Johnny López García - VOCAL I Ing. Adrián Fernández Castro - VOCAL II Ing. Marcia Cordero Sandí - FISCAL

Nota:

Las opiniones vertidas en este informe son expresadas por los autores en su calidad de miembros representantes de la Junta Directiva de la Asociación Costarricense de Geotecnia.