Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

Informe: EIC-Lanamme-INF-0788-2024

INFORME DE INSPECCIÓN DE TALUDES RUTA NACIONAL N.º 303

Preparado por:

Programa de Ingeniería Geotécnica

San José, Costa Rica
Mayo, 2024

1. Informe: EIC-Lanamme-INF-0788-2024	**2. Versión No.** 1
3. Título y subtítulo: INFORME DE INSPECCIÓN DE TALUDES RUTA NACIONAL N° 303	**4. Fecha del Informe** 21/05/2024

5. Organización y dirección

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica
Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440

6. Palabras clave

Ninguna

7. Resumen

El presente informe de inspección de los taludes de la Ruta Nacional N°303, es producto de las inspecciones de taludes que realiza el Programa de Ingeniería Geotécnica del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) que se realizan en el marco de las competencias asignadas al LanammeUCR según se indica en el artículo 6 de la ley 8114.

Debido a las condiciones de estabilidad observadas a lo largo de la Ruta Nacional 303, este informe proporciona un inventario actualizado de los sitios que muestran evidencia de inestabilidad y los factores que pueden incidir negativamente en el equilibrio del terreno, lo cual puede ser utilizado como insumo para análisis detallados por parte de la Administración. En total fueron identificados 46 sitios de interés geotécnico con alguna evidencia de inestabilidad, fue posible notar que estos se encuentran distribuidos a lo largo de toda la ruta, donde los tramos que concentran la mayor cantidad de puntos se ubican entre los estacionamientos 6+000 al 9+000 (16 puntos), tramo localizado entre Miramar y Mata de Caña de Tarrazú, y el tramo entre los estacionamientos 13+000 al 15+000 (10 puntos), que corresponde al tramo localizado entre Las Pavas y San Carlos de Tarrazú.

Es importante destacar que este informe constituye un insumo y una guía que puede ser tomada en consideración para llevar a cabo análisis adicionales con un mayor grado de detalle, que deben ser realizados por el profesional en geotecnia responsable designado por la Administración para emitir las propuestas e implementar las obras requeridas, si fuese necesario.

Este informe de inspección de taludes tiene validez únicamente en su forma íntegra y original.
No se permite la reproducción total ni parcial de este documento sin la autorización del director del LanammeUCR.

8. Inspección e informe por:	**9. Revisado por:**
GUSTAVO ADOLFO BADILLA VARGAS (FIRMA) Firmado digitalmente por GUSTAVO ADOLFO BADILLA VARGAS (FIRMA) Fecha: 2024.05.21 08:28:32 -06'00' Ing. Gustavo A. Badilla Vargas, D.Sc. Inspector nivel 2 Programa de Ingeniería Geotécnica	Firmado digitalmente por GIOVANNI SANCHO SANZ (FIRMA) Fecha: 2024.05.21 09:54:08 -06'00' Lic. Giovanni Sancho Sanz Asesoría Legal LanammeUCR

10. Revisado y aprobado por:

ANA LORENA MONGE SANDI (FIRMA)
Firmado digitalmente por ANA LORENA MONGE SANDI (FIRMA)
Nombre de reconocimiento (DN): serialNumber=CPF-01-0910-0371, sn=MONGE SANDI, givenName=ANA LORENA, c=CR, o=PERSONA FISICA, ou=CIUDADANO, cn=ANA LORENA MONGE SANDI (FIRMA)
Fecha: 2024.05.21 15:26:58 -06'00'

Ing. Ana Lorena Monge Sandí, MSc.
Coordinadora Programa Ingeniería Geotécnica

RESUMEN EJECUTIVO

Este informe tiene como propósito realizar una evaluación preliminar de los taludes a lo largo de la Ruta Nacional 303. Los resultados de esta evaluación ofrecen información valiosa para identificar las condiciones de sitios específicos durante el período de la evaluación. Además, se proporcionan recomendaciones generales para el mantenimiento de los taludes y la prevención o mitigación de posibles deslizamientos.

En total fueron identificados 46 sitios de interés geotécnico con alguna evidencia de inestabilidad. No obstante, debido a la limitación encontrada en esta carretera de montaña en cuanto a espacios disponibles para estacionar el vehículo sin obstruir el flujo del tránsito, sin poner en riesgo la vida de los operarios de las inspecciones y de los usuarios de la carretera, solo fue posible identificar la fecha del levantamiento, coordenadas exactas del sitio y una fotografía de la condición. A partir de esta evaluación fue posible notar que los sitios de interés geotécnico se encuentran distribuidos a lo largo de toda la carretera, donde los tramos que concentran la mayor cantidad de puntos se ubican entre los estacionamientos 6+000 al 9+000 (16 puntos), tramo localizado entre Miramar y Mata de Caña de Tarrazú, y el tramo entre los estacionamientos 13+000 al 15+000 (10 puntos), que corresponde al tramo localizado entre Las Pavas y San Carlos de Tarrazú.

Así pues, identificados los tramos con mayor cantidad de taludes con evidencias de inestabilidad, es posible realizar, en visitas de campo posteriores, la aplicación de la herramienta RC-545 “Herramienta del Lanamme para la inspección de taludes” V02 bajo la metodología descrita en el instructivo IT-IN-05 "Procedimiento para inspección de taludes" V02.

De manera general se resalta que la mayoría de los taludes existentes carecen de sistemas adecuados para el control de la escorrentía superficial, por lo que se recomienda implementar medidas integrales de mitigación para detener y evitar la erosión de la cara de los taludes, así como, colocar sistemas para el control de la escorrentía superficial y evitar que se magnifiquen los problemas de estabilidad que fueron observados. Así como también se recomienda colocar métodos adecuados para el control de la erosión superficial, tales como la colocación de vegetación, geomantas, biomantas, entre otros.

Es importante enfatizar que, aunque este informe cuenta con un respaldo técnico adecuado, corresponde a los resultados de una inspección visual realizada en un momento específico. Por lo tanto, constituye un insumo inicial para los análisis definitivos y para la toma de decisiones finales o recomendaciones de diseños de obras de ser necesarias. Para ello, se requiere un estudio completo que debe ser realizado por un profesional en geotecnia designado por la Administración para emitir propuestas e implementar obras de estabilidad de taludes, en caso de ser necesarias.

El objetivo final es garantizar la seguridad y eficiencia del tránsito en esta ruta nacional, promoviendo el bienestar de los usuarios y contribuyendo al desarrollo sostenible del país. Se insta a realizar estudios geotécnicos exhaustivos, con la exploración geotécnica requerida, y a considerar todas las variables para tomar decisiones informadas y seguras.

Contenido

I. INTRODUCCIÓN 5
II. OBJETIVOS 6
II.1 Objetivo general 6
II.2 Objetivos específicos 6
III. ALCANCE DEL INFORME 7
IV. DESCRIPCIÓN DE LOS TALUDES INSPECCIONADOS 8
V. RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN 10
VI. COMENTARIOS FINALES 14
VII. RECOMENDACIONES DERIVADAS DE LA INSPECCIÓN 15
VIII. REFERENCIAS 16

I. INTRODUCCIÓN

La inspección y evaluación a elementos que son considerados activos viales, como lo son los taludes, se realiza de conformidad con las disposiciones del artículo 6 de la Ley N°8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias y su reforma mediante la Ley N°8603, dentro del Programa de Fiscalización de la Calidad de la Red Vial del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) de la Universidad de Costa Rica (UCR).

Dado lo anterior, el presente documento es un informe de inspección y evaluación de taludes de la Ruta Nacional 303 que se enmarca en las funciones de fiscalizador que la ley citada le confiere al LanammeUCR.

El trabajo realizado consiste en la inspección y evaluación de los taludes o laderas a lo largo de toda la ruta, con especial atención a aquellos que muestran signos de inestabilidad. Este análisis se llevó a cabo siguiendo el procedimiento establecido en el instructivo IT-IN-05 "Procedimiento para inspección de taludes", V02, desarrollado por el PIG del LanammeUCR. Además, se destaca que la validación de los resultados se realizó en campo, contando con la experiencia y el criterio profesional de expertos en el área.

Como parte de la evaluación, se implementó el uso de una herramienta simplificada que consiste en un levantamiento rápido para el cual se almacena únicamente la fecha del levantamiento, coordenadas exactas del sitio y una fotografía de la condición. La herramienta simplificada surge a raíz de la limitación de algunas zonas de las carreteras de montaña en cuanto a espacios disponibles para estacionar el vehículo sin obstruir el flujo del tránsito, sin poner en riesgo la vida de los operarios de las inspecciones y de los usuarios de la carretera. Con esta otra herramienta es posible identificar sitios con evidencias de inestabilidad que puedan evolucionar a movimientos de material que eventualmente afecten la carretera al cambiar sus condiciones geométricas o de saturación del medio.

Los resultados de esta evaluación representan un insumo que permitirán tener un conocimiento de los sitios específicos que al momento de la evaluación presentan inestabilidades de algún tipo, así como recomendaciones técnicas generales para el mantenimiento de los taludes o laderas y prevención o mitigación de posibles deslizamientos.

II. OBJETIVOS

II.1 Objetivo general

Inspeccionar y evaluar la condición de taludes y laderas a lo largo de toda la Ruta Nacional 303 y su entorno, para determinar si en su estado actual amerita realizar estudios y análisis adicionales para establecer su estado de estabilidad.

II.2 Objetivos específicos

- Determinar las características generales de los materiales que componen el talud y el estado que muestran al momento de la inspección
- Establecer si existe evidencia de movimiento o falla del talud bajo las condiciones del entorno en que se encuentra
- Verificar si existen obras de drenaje, manejo de aguas o estabilización
- Revisar si la condición del talud puede impactar directamente emplazamientos, vías o servicios cercanos que generen afectación a los usuarios de estos

El presente informe pretende establecer niveles de evaluación y clasificación de la condición de los taludes para la identificación de la necesidad o no de recomendaciones técnicas o intervenciones más profundas a cargo de profesionales en geotecnia asignados por la Administración, a partir de la evaluación visual realizada del talud.

III. ALCANCE DEL INFORME

El presente informe no está destinado a presentar los resultados de una evaluación rigurosa del riesgo de los taludes evaluados, puesto que este tipo de evaluaciones requieren de la incorporación de conceptos más complejos. No obstante, el presente informe pretende establecer niveles de evaluación y clasificación de la condición de los taludes con base en el criterio experto del Programa de Ingeniería Geotécnica (PIG) del LanammeUCR, para la identificación de la necesidad o no de recomendaciones técnicas o intervenciones más profundas, a partir de la evaluación visual realizada del talud.

En este sentido, la evaluación realizada establece dos áreas generales de estudio, a saber:

- La caracterización del talud: En esta se incluyen las características talud, tales como altura, pendiente, material que lo conforma entre otros, así como condiciones climáticas de la zona.
- Observaciones en la zona del talud: En esta, la evaluación se concentra en verificar si hay evidencia de movimiento y si existe alguna posible afectación en la zona circundante al talud.

Para efectos de los alcances de este informe se han establecido tres niveles (ver Tabla 1), cuya asignación se establece según la aplicación de la herramienta RC-545 “Herramienta del LanammeUCR para la inspección de taludes” V02 y el instructivo IT-IN-05 “Procedimiento para inspección de taludes” V02, elaborado por el PIG del LanammeUCR y cuya validación se realiza en campo con criterio profesional experto y que se presentan a continuación:

Tabla 1. Clasificación de la condición de los taludes con base en el criterio experto del PIG LanammeUCR

Clasificación	Descripción
Baja	El nivel de afectación del talud leve y la incidencia sobre las estructuras cercanas no implica análisis adicionales específicos o más profundos del sitio. Las recomendaciones que se brindan son de carácter general
Media	El nivel de afectación del talud o la incidencia sobre estructuras cercanas requiere de una evaluación específica del sitio, con el fin de determinar si el talud requiere de recomendaciones especiales para el sitio o análisis más profundos, o si bien las recomendaciones generales son suficientes para mejorar la condición del talud
Alta	El nivel de afectación del talud y la incidencia sobre estructuras cercanas requiere realizar un análisis con mayor detalle del sitio, incluyendo exploración geotécnica básica y el uso de algún software especializado. Las recomendaciones dependerán del resultado del análisis, si son requeridas

IV. DESCRIPCIÓN DE LOS TALUDES INSPECCIONADOS

Con la finalidad de evaluar la condición y contar con un inventario de los taludes o laderas que presentan indicios de inestabilidad a lo largo del sector de carretera de montaña de la Ruta Nacional 303, se realizó el recorrido de la ruta, capturando las coordenadas, y evidencia fotográfica de los sitios que bajo el criterio del profesional experto en el área fueron considerados de interés geotécnico para el monitoreo del comportamiento de los taludes y su afectación en la ruta.

En total fueron identificados 46 sitios de interés geotécnico con alguna evidencia de inestabilidad. No obstante, debido a la limitación encontrada en esta carretera de montaña en cuanto a espacios disponibles para estacionar el vehículo sin obstruir el flujo del tránsito, sin poner en riesgo la vida de los operarios de las inspecciones y de los usuarios de la carretera, solo fue posible identificar los sitios con evidencias de inestabilidad que puedan evolucionar a movimientos de material y que, eventualmente, puedan afectar a la carretera al cambiar sus condiciones geométricas o de saturación del medio.

Para esto, solamente fue posible realizar un levantamiento rápido, en el cual se almacena únicamente la fecha del levantamiento, coordenadas exactas del sitio y una fotografía de la condición. En la Tabla 2 se enlistan las ubicaciones de los registros de los sitios identificados con condiciones que son consideradas evidencias de inestabilidad registrados con la herramienta simplificada.

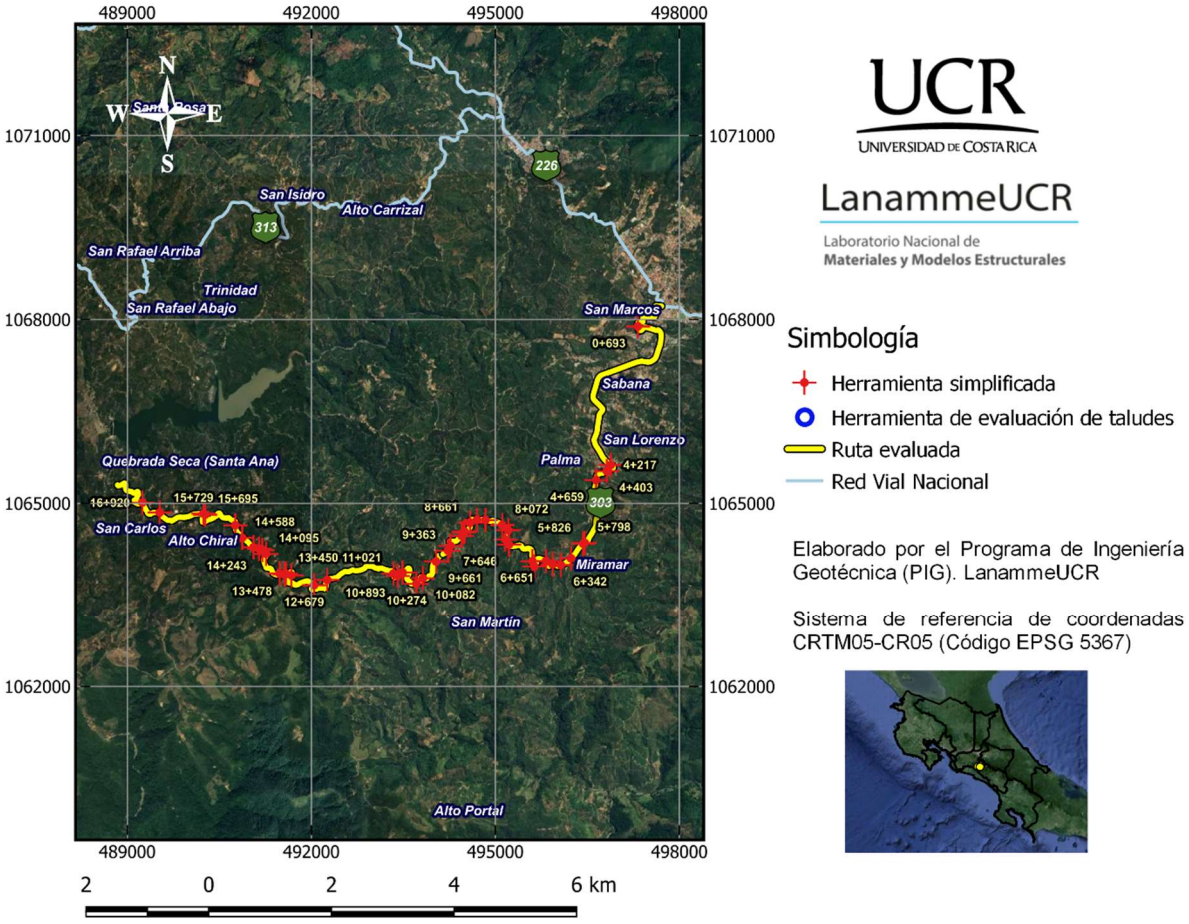
Tabla 2. Ubicación de los sitios identificados con la herramienta simplificada

#	Fecha	Ubicación (CRTM-05)		Est.	#	Fecha	Ubicación (CRTM-05)		Est.
		Este	Norte				Este	Norte	
1	12/04/2024	497327.14	1067886.49	0+693	24	12/04/2024	494231.85	1064225.26	9+363
2	12/04/2024	496885.90	1065626.49	4+217	25*	12/04/2024	494036.38	1064049.85	9+661
3*	12/04/2024	496819.94	1065525.98	4+403	26	12/04/2024	493820.70	1063776.07	10+082
4	12/04/2024	496646.24	1065377.77	4+659	27*	12/04/2024	493715.96	1063687.34	10+274
5*	12/04/2024	496458.48	1064352.76	5+798	28	12/04/2024	493489.64	1063869.65	10+793
6	12/04/2024	496433.75	1064339.41	5+826	29*	12/04/2024	493408.76	1063812.81	10+893
7*	12/04/2024	496237.10	1064100.24	6+138	30	12/04/2024	493340.86	1063852.79	11+021
8	12/04/2024	496070.67	1063992.42	6+342	31	12/04/2024	492260.16	1063749.57	12+219
9	12/04/2024	495937.40	1064001.28	6+482	32	12/04/2024	492045.97	1063663.13	12+679
10*	12/04/2024	495830.28	1064058.75	6+651	33*	12/04/2024	491675.48	1063822.74	13+290
11*	12/04/2024	495637.44	1063968.47	6+938	34*	12/04/2024	491585.92	1063852.10	13+450
12*	12/04/2024	495606.57	1064052.18	7+044	35	12/04/2024	491561.90	1063838.31	13+478
13	12/04/2024	495224.68	1064326.33	7+646	36*	12/04/2024	491485.69	1063856.38	13+560
14	12/04/2024	495163.75	1064407.94	7+758	37*	12/04/2024	491265.07	1064174.45	14+095
15*	12/04/2024	495215.37	1064560.63	7+924	38	12/04/2024	491202.82	1064237.14	14+185
16	12/04/2024	495115.08	1064645.18	8+072	39	12/04/2024	491148.63	1064258.11	14+243
17	12/04/2024	494841.79	1064726.36	8+366	40	12/04/2024	491059.56	1064280.93	14+338
18	12/04/2024	494703.76	1064729.82	8+507	41*	12/04/2024	490875.21	1064436.69	14+588
19	12/04/2024	494590.98	1064680.23	8+661	42	12/04/2024	490762.71	1064641.65	14+839
20	12/04/2024	494500.07	1064540.42	8+848	43	12/04/2024	490271.67	1064814.24	15+695
21	12/04/2024	494485.09	1064526.54	8+869	44	12/04/2024	490242.11	1064831.42	15+729
22	12/04/2024	494454.11	1064467.91	8+936	45	12/04/2024	489527.96	1064849.57	16+525
23	12/04/2024	494270.01	1064304.76	9+270	46	12/04/2024	489246.65	1065010.67	16+920

(*) Taludes de relleno o terraplenes

Por su parte en la Figura 1 se muestran con una cruz roja estos mismos sitios registrados con la herramienta simplificada. Como se puede notar, los deslizamientos se encuentran distribuidos a lo largo de toda la carretera, donde los tramos que más concentran la mayor cantidad de puntos se ubican entre los estacionamientos 6+000 al 9+000 (16 puntos), que corresponde al tramo localizado entre Miramar y Mata de Caña de Tarrazú, y entre los estacionamientos 13+000 al 15+000 (10 puntos), que corresponde al tramo localizado entre Las Pavas y San Carlos de Tarrazú.

Figura 1. Ubicación gráfica del inventario de taludes con evidencias de inestabilidad a lo largo del tramo de carretera de montaña de la RN303



Bajo las condiciones citadas anteriormente, para esta visita no fue posible aplicar la herramienta RC-545 “Herramienta del Lanamme para la inspección de taludes” V02 bajo la metodología descrita en el instructivo IT-IN-05 "Procedimiento para inspección de taludes" V02. No obstante, con la información suministrada la Administración puede contar con un inventario de puntos de interés geotécnico para realizar inspecciones, estudios y análisis más profundos, según lo considere pertinente.

V. RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN

En términos generales los taludes inspeccionados corresponden a taludes de relleno al costado de la carretera de alturas variables, las cuales no fue posible estimar, así como también taludes de corte con alturas menores a 10 metros, en su mayoría con alturas entre los 5 m a 8 m. De lo observado en campo, los taludes muestran evidencias de movimiento de material, lo cual se ve reflejado por la presencia de coronas, agrietamientos en la superficie de ruedo del pavimento, inclinación de árboles cercanos al talud y material caído o deslizado. Adicionalmente se observaron evidencias de erosión en la superficie de la cara de los taludes y, en algunos de estos taludes se observaron etapas tempranas de la formación de cárcavas que pueden ser asociadas con la falta de estructuras para el control y manejo de la escorrentía superficial.

En algunos de los taludes se observó la presencia de cunetas en la base de los taludes, no obstante, esta medida es insuficiente para asegurar la estabilidad de los taludes. De esta manera, se considera oportuno implementar un adecuado sistema de manejo de agua de escorrentía superficial que incluya contracunetas y estructuras de canalización de agua para evitar la escorrentía superficial sobre la cara de los taludes y considerar una mejora en el sistema de drenajes existente, cuyo diseño y construcción debe ser adecuado y específico al talud a intervenir. Adicionalmente, se recomienda la colocación de métodos adecuados para el manejo de erosión, a saber: vegetación, geomantas, biomantas, entre otros (ver Figura 2 y

Figura *3*)

Figura 2. Condición de taludes de corte inspeccionados en la Ruta Nacional 303

(a) evidencias de erosión en la cara del talud y cunetas en buenas condiciones y limpias, estación 7+646

(b) evidencias de erosión, material deslizado en la base del talud, árboles inclinados y sin presencia de cunetas, estación 8+366

Figura 3. Condición de taludes de corte inspeccionados en la Ruta Nacional 303

(a) evidencias de erosión, material deslizado en la base del talud, árboles inclinados y con presencia de cunetas obstruidas por el deslizamiento, estación 8+869

(b) evidencias de erosión en la cara del talud, formación de cárcavas y sin presencia de cunetas, estación 11+021

Por otro lado, fue posible observar que los taludes de relleno no tienen cunetas o algún otro mecanismo de control de la escorrentía superficial entre la superficie de ruedo y el borde del talud. Es importante mencionar que, en estos casos, esta zona correspondería a la corona del talud de relleno, por lo que la falta de control del agua superficial puede generar una reducción de la resistencia, favoreciendo una inestabilidad y deformaciones en la capa de ruedo. Lo anterior se puede ver reflejado con la presencia de grietas en el pavimento, tal y como se observa en la Figura 4, situación que, si no es tratada en el momento oportuno, puede generar una falla y una pérdida en la sección transversal o ancho del pavimento que requiere de intervenciones mayores, tal y como se observa en la Figura 5.

Figura 4. Condición de taludes de relleno inspeccionados en la Ruta Nacional 303.

(a) agrietamiento de la superficie de ruedo por falla del talud de relleno y sin presencia de cunetas, estación 9+661

(b) agrietamiento de la superficie de ruedo por falla del talud de relleno y sin presencia de cunetas, estación 14+095

Figura 5. Condición de taludes de relleno inspeccionados en la Ruta Nacional 303.

(a) pérdida de sección transversal del pavimento, sin presencia de cunetas y colocación de un bordillo, estación 7+044

(b) cambio en el alineamiento original de la ruta, agrietamiento de la superficie de ruedo por falla del talud de relleno y sin presencia de cunetas, estación 14+588

Para los sectores con mayor concentración o densidad de taludes con evidencias de deslizamientos, se considera apropiado realizar análisis especializados de estabilidad, considerando la topografía actual y considerando escenarios con saturación del terreno y sismo. Para esto es recomendable realizar un levantamiento topográfico del talud para realizar el análisis en softwares especializados aplicando la geometría representativa del sitio. Una posibilidad para contar con la topografía del sitio es realizar el levantamiento con Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) para la generación de Modelos de Elevación Digital (MED), y posteriormente realizar análisis con softwares especializados en geotecnia que permitan determinar las superficies de falla con mayor precisión.

Adicionalmente, en el caso de encontrarse viviendas u obras de infraestructuras cercanas a los taludes, se considera importante complementar los análisis de estabilidad con análisis de esfuerzo-deformación en las zonas próximas a la superficie de ruedo usando el Método de Elementos Finitos

(MEF), con la finalidad de incluir un análisis de deformaciones en los taludes y sectores próximos a éstos, y establecer posibles afectaciones que puede sufrir la vía debido a las deformaciones por la redistribución de los esfuerzos in situ y verificar el estado límite de servicio de los taludes, pavimento y cualquier otra obra de infraestructura cercana.

VI. COMENTARIOS FINALES

Después de realizar la visita de campo a la Ruta Nacional 303, de manera general se resalta que la mayoría de los taludes existentes carecen de sistemas adecuados para el control de la escorrentía superficial, por lo que se recomienda implementar medidas integrales de mitigación para detener y evitar la erosión de la cara de los taludes, así como colocar sistemas para el control de la escorrentía superficial y evitar que se magnifiquen los problemas de estabilidad que fueron observados. Igualmente se recomienda colocar métodos adecuados para el control de la erosión superficial, tales como la colocación de vegetación, geomantas, biomantas, entre otros.

Se sugiere llevar a cabo estudios adicionales incluyendo ensayos in situ y de laboratorio, que constituye una exploración geotécnica más a detalle que permita establecer un modelo geotécnico específico y representativo de cada una de las zonas de estudio y, posterior a esto, realizar los respectivos análisis de estabilidad en condición tanto estática como pseudo-estática, así como evaluar diferentes condiciones de saturación de los materiales, dada la influencia que tiene el agua en la estabilidad de los taludes y laderas, así como también evaluar diferentes propuestas de estabilización de los taludes y su respectiva optimización, en caso de ser necesarias. La omisión de estos aspectos podría significar riesgos económicos a la Administración y a los usuarios de la ruta.

Adicionalmente, cuando se requiera un análisis más específico, resulta apropiado, de ser posible, identificar la superficie de falla crítica en la modelación tridimensional, para luego analizar esta superficie en dos dimensiones, modificando las condiciones de análisis, es decir, estática, pseudo-estática, seca y saturada. Este enfoque permite simular el comportamiento de la misma superficie de falla bajo diferentes condiciones y, de esta manera, obtener resultados más representativos. Estos resultados proporcionarán la base para ofrecer recomendaciones específicas de la condición de estos taludes por parte del ingeniero especializado en geotecnia a cargo asignado por la Administración.

Finalmente se considera importante complementar los análisis de estabilidad con análisis de esfuerzo-deformación en las zonas próximas a la superficie de ruedo usando el Método de Elementos Finitos (MEF), con la finalidad de incluir un análisis de deformaciones en los taludes y sectores próximos a éstos, y establecer posibles afectaciones que puede sufrir la vía debido a las deformaciones que puede sufrir el terreno por la redistribución de los esfuerzos in situ y verificar el estado límite de servicio de los taludes, pavimento y cualquier otra obra de infraestructura cercana.

VII. RECOMENDACIONES DERIVADAS DE LA INSPECCIÓN

Dadas las limitaciones de la evaluación realizada de los sitios visitados en este informe no es posible emitir recomendaciones y diseños detallados de alguna obra de retención. Así pues, corresponde a la Administración la designación de un profesional en geotécnica para la elaboración de un estudio completo y la emisión de las propuestas de las obras de estabilidad o retención de talud, en caso de ser necesarias.

De manera general se sugiere llevar a cabo estudios adicionales incluyendo ensayos in situ y de laboratorio, que constituye una exploración geotécnica más a detalle. Con ello sería posible establecer modelos geotécnicos específicos y representativos de cada uno de los taludes inspeccionados y, posterior a esto, realizar los respectivos análisis de estabilidad.

Sin embargo, de la visita de campo realizada, fue posible observar que los taludes inspeccionados carecen de sistemas de drenaje superficial y control de la escorrentía. Por lo cual se recomienda construir sistemas de drenajes en el propio talud, así como llevar a cabo el diseño y construcción del sistema de drenajes específicos para los problemas observados en cada uno de los taludes inventariados, estos sistemas deben incluir contracunetas y estructuras de canalización de agua de escorrentía superficial. El diseño de estas obras deberá estar a cargo y bajo la supervisión del ingeniero en geotecnia encargado del proyecto, designado por la Administración.

Se considera recomendable la colocación de métodos adecuados para el control de la erosión superficial, tales como: vegetación, geomantas, biomantas, entre otros, en los sitios que se considere pertinente a raíz de una inspección y evaluación más a detalle. Estos métodos deben contar con un diseño específico para el sitio evaluado y su selección deberá estar a cargo y bajo la supervisión del ingeniero en geotecnia encargado del proyecto, que indique la forma adecuada de colocar estas alternativas, con el fin de optimizar la solución y no generar problemas mayores a posteriori.

Dada la dificultad para acceder a ciertos taludes y hacer una inspección y evaluación apropiada del sitio específico, así como para conocer su topografía específica, se recomienda realizar el levantamiento con Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) para la generación de Modelos de Elevación Digital (MED) como medida alternativa para generar dicha topografía, y posteriormente realizar análisis con softwares especializados en geotecnia que permitan determinar las superficies de falla con mayor precisión, especialmente en los tramos que concentran la mayor cantidad de puntos entre los estacionamientos 6+000 al 9+000 (16 puntos), que corresponde al tramo localizado entre Miramar y Mata de Caña de Tarrazú, y entre los estacionamientos 13+000 al 15+000 (10 puntos), que corresponde al tramo localizado entre Las Pavas y San Carlos de Tarrazú.

VIII. REFERENCIAS

- LanammeUCR (2023). **RC-545 Herramienta del LanammeUCR para la inspección de taludes" V02, en Survey123**. LanammeUCR. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

- Programa de Ingeniería Geotécnica (2023). **IT-IN-05 "Procedimiento para inspección de taludes" V02**. LanammeUCR. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.