



Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

Programa de Ingeniería del Transporte (PITRA)

**Análisis de los estudios geológico-geotécnicos y del diseño,
construcción y mantenimiento de la sección comprendida entre
los estacionamientos 46+780 a 46+860 y de la atención a los
hechos relacionados con la falla de la sección de relleno**

Proyecto San José-Caldera Ruta Nacional 27, Tramo II

Diciembre 2010

Tabla de Contenidos

RESUMEN EJECUTIVO -----	3
1. INTRODUCCIÓN -----	6
2. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS -----	6
2.1. OBJETIVO GENERAL -----	6
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS -----	6
3. METODOLOGÍA GENERAL DEL ESTUDIO -----	8
4. ANÁLISIS REALIZADO PARA EL TRAMO UBICADO ENTRE LOS EST. 46+780 Y 46+860 -----	11
4.1. ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN -----	11
4.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE DISEÑO -----	16
4.3. ANÁLISIS DE LA CONSTRUCCIÓN Y LABORES DE MANTENIMIENTO -----	17
4.4. ANÁLISIS DE LA ATENCIÓN A LA FALLA DE LA SECCIÓN DE RELLENO -----	20
5. CONCLUSIONES -----	23
6. RECOMENDACIONES -----	26
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	28
8. ANEXOS -----	29
8.1. ANEXO 1. EVOLUCIÓN DE LA FALLA DE LA SECCIÓN DE RELLENO OCURRIDO EN EL TRAMO ENTRE LOS ESTACIONAMIENTOS 46+780 A 46+860 -----	29
8.2. ANEXO 2. “SECCIÓN 203 EXCAVACIÓN Y TERRAPLENADO” DEL MANUAL “ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS, CARRETERAS Y PUENTES CR-77” -----	43

Resumen Ejecutivo

Análisis de los estudios geológico-geotécnicos y del diseño, construcción y mantenimiento de la sección comprendida entre los estacionamientos 46+780 a 46+860 y de la atención a los hechos relacionados con la falla de la sección de relleno

Proyecto San José-Caldera , Ruta Nacional 27, Tramo II

Bajo el marco de la Ley 8114 de Simplificación y Eficiencias Tributarias, le corresponde al LanammeUCR realizar una evaluación anual de los proyectos administrados bajo la modalidad de concesión de obra pública, como un instrumento eficaz e imparcial de rendición de cuentas y garantizar la calidad y el mantenimiento de los niveles de servicio de aquel patrimonio vial en manos de las empresas concesionarias.

Tomando en consideración estos aspectos, ninguna evaluación de un proyecto en concesión estaría completa sin un análisis de las obras que forman parte de la infraestructura vial, entre ellas las obras geotécnicas. Para este caso en particular se realiza un análisis de los estudios geológico-geotécnicos existentes y facilitados al LanammeUCR, y del diseño, construcción y mantenimiento de la sección comprendida entre los estacionamientos 46+780 a 46+860 del tramo II del proyecto San José-Caldera y de la atención a los hechos ocurridos en dicho segmento, relacionados con la falla de la sección de relleno.

El análisis se divide en cuatro partes. En la primera se analizan estudios geológico-geotécnicos realizados antes de febrero de 2008, fecha en que inicio la construcción del proyecto, y que se consideraron como referenciales para las etapas de diseño y posteriores. Los datos de entrada para la etapa de diseño dependen del alcance y profundidad de la investigación (e.g., geológico-geotécnica, hidrogeológica) en la cual se basa. En términos generales, la investigación realizada debería aportar información representativa, relevante y suficiente para la etapa de diseño. En una segunda etapa se evalúa el diseño geotécnico en función de la pertinencia y eficacia de las soluciones propuestas para solucionar los problemas a los que se enfrenta y de las características de las obras específicas, así como las soluciones para el manejo de aguas de escorrentía y subterráneas asociadas a las obras geotécnicas. La construcción se evalúa en una tercera etapa en función del apego a los planos de diseño y a las especificaciones técnicas, a la calidad de los materiales empleados y a los procedimientos constructivos utilizados. En la misma sección se evalúa el mantenimiento en función del conjunto de operaciones y cuidados para que las obras construidas puedan seguir funcionando adecuadamente, según las condiciones iniciales de puesta en operación. En una última etapa se realiza un análisis de los hechos ocurridos en referencia a la falla de la sección de relleno del tramo 46+780 a 46+860.

Después del análisis realizado, se considera que los estudios geológicos realizados previos a la etapa de diseño del proyecto son de una calidad buena, aunque el alcance de los mismos deja algunos tramos del corredor sin caracterizar, entre ellos el tramo que abarca los estacionamientos 46+780 a 46+860.

Desde un punto de vista de diseño, solo se encontraron soluciones para los tramos con taludes de corte y rellenos a nivel de recomendación, soluciones que, se recomendaba también, debían ser revisadas a la hora de realizar los diseños definitivos. El LanammeUCR no encontró evidencia de esos diseños definitivos. Sí se hallaron diseños para obras particulares; no obstante, se aclara que éstos fueron realizados una vez iniciada la construcción del proyecto, y ninguno corresponde al tramo ubicado entre los estacionamientos 46+780 a 46+860.

Sobre la etapa de construcción, se menciona que no se encontraron evidencias de informes de ensayos de laboratorio o campo, levantamientos topográficos, anotaciones en bitácora, diarios de proyecto, libretas de taludes o relleno, que registren las labores de construcción realizadas, problemas encontrados, soluciones a esos problemas, conformación final de terrazas y obras hidráulicas en secciones de relleno, etc. La información generada en esta etapa para el tramo ubicado entre los estacionamientos 46+780 a 46+860 es muy pobre o casi nula, según la información a la que tuvo acceso el LanammeUCR. Si dicha información existe, ella no fue accesible al grupo investigador del LanammeUCR cuando, por diversos medios, se empeñó en obtenerla.

Con respecto a las labores de mantenimiento, según el Programa de Actividades de Rehabilitación del ente concesionario, estas se encuentran enfocadas de manera correctiva a la limpieza de derrumbes, no indicando las labores de mantenimiento que se siguen para las secciones de relleno, tanto para la obra geotécnica como para las hidráulicas asociadas a esta.

Con respecto a la falla de la sección de relleno del tramo ubicado entre los estacionamientos 46+780 a 46+860, se considera fue producto de un mal manejo de aguas de escorrentía y subterráneas, asociado a obras hidráulicas insuficientes y de mala calidad constructiva que permitieron la infiltración de agua en el material ubicado en la sección de relleno. Las infiltraciones en el material ubicado en la zona de relleno fueron alertadas por varias empresas, y junto a las lluvias presentadas en los meses anteriores provocaron la saturación del terreno, produciendo que la tasa de movimiento de la masa de suelo aumentara. Lo anterior, aunado a la solución aplicada por el concesionario, de nivelar el terreno según se fuera desplazando, no hizo más que aplicarle más peso a una masa que ya era inestable, llegando a tener un sobre espesor de carpeta asfáltica de un metro y medio, y que junto a las cargas dinámicas de los vehículos, aceleró el proceso de desplazamiento.

Ante lo expuesto anteriormente, se plantea lo siguiente:

- Analizar, por parte del Consejo Nacional de Concesiones, la necesidad de solicitarle al ente concesionario del proyecto San José-Caldera, un estudio exhaustivo de las condiciones actuales de otros sitios de relleno, como los ubicados cerca de los estacionamientos 38+700 y 44+500, para verificar las condiciones constructivas de estas estructuras. Para las secciones de relleno que muestren algún tipo de señal de inestabilidad, se recomienda se estudie la necesidad de ser intervenidas de manera preventiva, para evitar se repita lo acontecido en la sección de relleno ubicado entre los estacionamientos 46+780 a 46+860.
- Revisar, por parte del Consejo Nacional de Concesiones o el ente supervisor representante de la Administración, el apego de las obras construidas a los documentos de diseño existentes (e.g., planos, especificaciones técnicas), y cuando se adviertan diferencias, solicitar al Concesionario explicaciones y documentos técnicos que respalden de tales diferencias. Para las obras pendientes de construir se recomienda al Consejo Nacional de Concesiones o al

ente supervisor representante de la Administración, estudiar la necesidad de solicitarle al ente concesionario la asignación de geólogos o ingenieros especializados y con experiencia en geotécnica vial, para realizar una inspección de las obras que se estén construyendo y aportar soluciones a los problemas, si estos se presentaran y documentos de diseño, como planos o especificaciones técnicas, que respalden la solución que vaya a construirse.

- Reforzar los sistemas de monitoreo y alerta temprana que haya implementado el concesionario que tome en consideración factores como lluvia y sismo, para poder alertar de manera preventiva a los usuarios y al ente concesionario ante lluvias de larga duración e intensidades moderadas o fuertes (susceptibles de producir la saturación del terreno), o ante eventos sísmicos importantes o cualquier otro de índole climático o geológico que pueda comprometer la estabilidad de taludes de corte y secciones de relleno. Se recomiendan se estudie la necesidad de utilizar de forma suficiente instrumentación en las zonas que así lo requieran, para medir de forma precisa parámetros que permitan prever condiciones de inestabilidad en el terreno. Se recomienda echar mano a tecnología que permita la transferencia de información de manera telemétrica, de manera que se minimice la cantidad de personal en sitios susceptibles a deslizamientos, disminuyendo el riesgo.
- Revisar la existencia de sistemas de manejo de agua de escorrentía y subterránea en los tramos identificados como críticos o especiales en varios estudios o los que han presentado algún tipo de inestabilidad. En los sitios donde existan estos sistemas se recomienda analizar su comportamiento a la fecha y tomar las medidas correctivas, si corresponde, para mejorar su eficiencia y funcionalidad antes de la próxima época lluviosa. Los sistemas de manejo de aguas de escorrentía y subterránea deben contar con desfogues apropiados, que permitan el traslado de las aguas recolectadas a zonas donde no comprometan las propias estructuras a las que sirven.
- Analizar, por parte del Consejo Nacional de Concesiones, la necesidad de solicitarle al ente concesionario del proyecto San José-Caldera un estudio donde se demuestre la estabilidad de los taludes de corte y zonas de relleno ante eventos sísmicos, según las aceleraciones del terreno esperadas de acuerdo con el estudio de amenaza sísmica realizado para el proyecto.
- Analizar, por parte del Consejo Nacional de Concesiones, la necesidad de solicitarle al ente concesionario del proyecto San José-Caldera se incluya dentro de la solución a la falla de la sección de relleno del tramo ubicado entre los estacionamientos 46+780 a 46+860, el diseño de un adecuado sistema de manejo de aguas de escorrentía y subterránea.

1. Introducción

Bajo el marco de la Ley 8114 de Simplificación y Eficiencias Tributarias, le corresponde al LanammeUCR realizar una evaluación anual de los proyectos administrados bajo la modalidad de concesión de obra pública, como un instrumento eficaz e imparcial de rendición de cuentas y garantizar la calidad y el mantenimiento de los niveles de servicio de aquel patrimonio vial en manos de las empresas concesionarias.

Tomando en consideración estos aspectos, ninguna evaluación de un proyecto en concesión estaría completa sin un análisis de las obras que forman parte de la infraestructura vial, entre ellas las obras geotécnicas. Las obras geotécnicas viales incluyen las obras de preparación de la subrasante para la construcción de la estructura del pavimento, tales como los rellenos compactados (terraplenes), los taludes de corte y obras de estabilización correspondientes, los rellenos de aproximación a puentes y los túneles. Estas obras se relacionan y complementan estrechamente con las obras de drenaje superficial y subsuperficial.

Para este informe en particular, se realiza un análisis de los estudios geológico-geotécnicos existentes y facilitados al LanammeUCR, y del diseño, construcción y mantenimiento de la sección comprendida entre los estacionamientos 46+780 a 46+860 del tramo II del proyecto San José-Caldera y de la atención a los hechos ocurridos en dicho segmento, relacionados con la falla de la sección de relleno.

A pesar de ser éste el primer proyecto vial en concesión de obra pública del país que es evaluado de acuerdo con lo establecido en el Artículo 6 de la Ley 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias, el LanammeUCR ya ha realizado anteriormente evaluaciones de vulnerabilidad de la infraestructura vial, desarrollando un importante cúmulo de experiencia, conocimiento y tecnología en evaluaciones de este tipo, que sirven de insumo para el presente informe.

2. Objetivo general y específicos

2.1. Objetivo general

Realizar un análisis de los estudios geológico-geotécnicos existentes y disponibles para el LanammeUCR, un análisis del diseño, construcción y mantenimiento de la sección comprendida entre los estacionamientos 46+780 a 46+860 del proyecto San José-Caldera y de la atención a los hechos ocurridos en referencia a la falla de dicha sección.

2.2. Objetivos específicos

Como objetivos específicos del estudio se plantea:

- Analizar los estudios referenciales y diseños geotécnicos aportados por el Consejo Nacional de Concesiones como parte del expediente del proyecto para el tramo entre los estacionamientos 46+780 a 46+860.



- Analizar el diseño, construcción y mantenimiento de la sección entre los estacionamientos 46+780 a 46+860.
- Analizar las acciones tomadas para atender la falla de la sección entre los estacionamientos 46+780 a 46+860.
- Identificar problemas y deficiencias en la investigación, el diseño, construcción y mantenimiento de la sección entre los estacionamientos 46+780 a 46+860.

3. Metodología general del estudio

Para evaluar la vulnerabilidad geotécnica de una obra vial se deben analizar los factores principales que la determinan, a saber:

1. La exposición de las obras geotécnicas a las amenazas naturales.
2. El alcance de la información referencial en relación con la metodología utilizada para el diseño.
3. Las condiciones de construcción y apego al diseño y especificaciones técnicas.
4. El mantenimiento que se dé, de forma preventiva a lo largo de su vida útil, a las obras geotécnicas e hidráulicas asociadas.

La evaluación de la vulnerabilidad determina el nivel de daño que sufriría la infraestructura en función de la exposición de los elementos a la amenaza (susceptibilidad), con base en las condiciones de diseño, construcción y mantenimiento de las obras, relacionados estos últimos aspectos a la información referencial utilizada como insumo para estas etapas.

La calidad y pertinencia de los datos de entrada para el diseño de obras geotécnicas viales dependen del alcance y profundidad de la investigación (e.g., geológico-geotécnica, hidrogeológica) en la cual se basa. En términos generales, la investigación realizada debería progresar en su detalle según la etapa de desarrollo de un proyecto, desde los estudios generales de las condiciones del corredor en la etapa de prefactibilidad hasta los estudios de las propiedades de los materiales que puedan aportar información representativa, relevante y suficiente para la etapa de diseño. Un diseño geotécnico se evalúa en función de la pertinencia y eficacia de las soluciones propuestas para solucionar los problemas a los que se enfrenta, como pueden ser condiciones de inestabilidad, y de las características de las obras específicas, tales como los terraplenes, así como las soluciones para el manejo de aguas de escorrentía y subterráneas asociadas a las obras geotécnicas. La construcción se evalúa en función del apego a los planos de diseño y a las especificaciones técnicas, a la calidad de los materiales empleados y a los procedimientos constructivos utilizados. El mantenimiento se evalúa en función del conjunto de operaciones y cuidados para que las obras construidas puedan seguir funcionando adecuadamente, según las condiciones iniciales de puesta en operación.

Este estudio se enfoca en el análisis de los estudios geológico-geotécnicos existentes y disponibles para el LanammeUCR, en el análisis del diseño, construcción y mantenimiento de la sección de relleno del tramo 46+780 a 46+860 del proyecto San José-Caldera y de la atención a los hechos ocurridos en referencia a la falla de dicha sección.

El estudio de la investigación geológico-geotécnica se enfocó en el análisis de informes referenciales, tales como estudios de amenaza sísmica, de evaluación hidrogeológica y geológico-geotécnicos preparados para el proyecto San José-Caldera, y facilitados al LanammeUCR por el Concejo Nacional de Concesiones (CNC).

Se usaron de referencia informes generados antes de febrero de 2008, momento en que inició la construcción del proyecto y que, por ende, se pueden considerar como insumo para el diseño y construcción de las obras geotécnicas e hidráulicas del proyecto (secciones I, II y III). Informes generados antes de febrero de 2008 para sitios de puente, por tratarse de estudios específicos para este tipo de obras, no son consideradas en este informe. Informes generados posterior a febrero de 2008 se analizan para las etapas de construcción, mantenimiento y atención a la falla de la sección de relleno para el tramo en estudio,

Como insumo para la evaluación de la investigación geológico-geotécnica se utilizaron de referencia, entre otros, los siguientes informes:

- “Informe Final Preliminar Segunda Fase, Estudios Geológico-Geotécnicos de Sitios Especiales”, realizado por la empresa Insuma S.A. (Diciembre de 1988).
- “Estudio geológico-geotécnico Paso Crítico Dantas”, realizado por IMNSA Ingenieros Consultores S.A. (Agosto de 1997).
- “Estudio de amenaza sísmica y evaluación hidrogeológica para el proyecto de carretera Ciudad Colón-Orotina”, realizado por la Sección de Sismología y Vulcanología de la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica (Noviembre de 1997).
- “Estudio geotécnico diseño final de cortes y rellenos críticos del Tramo Ciudad Colón-Orotina”, realizado por IMNSA Ingenieros Consultores S.A. y Greiner, Inc. (Junio de 1999).
- “Estudio geotécnico Informe Anexo: Diseño Final de Cortes y Rellenos críticos”, realizado por IMNSA Ingenieros Consultores S.A. y Greiner, Inc. (Julio de 1999).
- “Evaluación geotécnica para definir las pendientes de los cortes realizados en la carretera San José-Caldera y Caracterización Geotécnica de los sitios Paso Dantas y Paso Pancho Mora; Informe de Avance No. 1: Revisión de la información existente”, realizado por Insuma (Agosto de 2006).
- “Nota sobre la visita efectuada al tramo San José-Caldera los días 12 y 13 de octubre de 2006”, realizado por Gamma Geotécnica S.L. (Octubre 2006).
- “Evaluación geotécnica de cortes y rellenos a ser realizados en la carretera San José-Caldera – INFORME COMPLEMENTARIO; (Tramo II, Ciudad Colón-Orotina)”, realizado por Insuma (Diciembre de 2006).

El diseño, por su parte, se refleja técnicamente, en el caso de taludes de corte y rellenos, en el factor de seguridad estático y dinámico contra inestabilidad de estas estructuras y en el adecuado manejo de las aguas de escorrentía y subterráneas a través de obras hidráulicas, entre otros aspectos. Para evaluar el diseño, se analizó información aportada por el Consejo Nacional de Concesiones, referente a estudios preliminares, informes, planos constructivos, especificaciones técnicas e informes de empresas consultoras en geología e ingeniería geotécnica con participación en el proyecto, que se comentan en apartados posteriores.



Finalmente, la construcción y el mantenimiento se evaluaron a partir de información facilitada al LanammeUCR por el Consejo Nacional de Concesiones e información recolectada durante inspecciones técnicas realizadas por ingenieros del LanammeUCR. Se observaron las prácticas constructivas y los detalles de las obras realizadas, así como fallas ocurridas. Además se usó de referencia el Plan de Operación y Mantenimiento de la empresa concesionaria para corroborar el adecuado mantenimiento de las obras construidas.

Se hace la aclaración que se tomó de referencia el valor del estacionamiento de la ruta indicado en cada estudio para relacionar la información con el tramo analizado. El LanammeUCR no encontró evidencia escrita de modificaciones en los estacionamientos del proyecto que permitan inferir que un mismo valor de estacionamiento pueda representar dos ubicaciones distintas dentro del proyecto.

4. Análisis realizado para el tramo ubicado entre los Est. 46+780 y 46+860

4.1. Análisis de la investigación

Como parte del análisis de la investigación realizada aplicable al tramo en estudio, se efectuó una revisión de los documentos referenciales indicados en la sección 3. La calidad de la investigación se considera buena, no obstante llama la atención que la misma no comprende algunos tramos de la ruta, como el tramo donde sucedió la falla de la sección de relleno entre los estacionamientos 46+780 a 46+860, situación que se comentará más adelante.

Se analizó el “Estudio de amenaza sísmica y evaluación hidrogeológica para el proyecto de carretera Ciudad Colón-Orotina”, realizado por la Sección de Sismología y Vulcanología de la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica en noviembre de 1997. Se rescata de este informe “que el proyecto vial Ciudad Colón-Orotina atraviesa una zona de fallamiento activo, que corresponde al sistema de fallas de Tárcoles-La Garita”. No obstante, según el mismo informe, específicamente el tramo 46+780 a 46+860 no atraviesa estas fallas, sino que la intersección entre la línea de trazado y las fallas se ubica antes.

Lo anterior lo respalda el informe 3368-10 de Insuma (Respuesta al informe de Ingeotec (Oficio ING-144-2010), donde se menciona lo siguiente:

- *“En la zona existe un pequeña cuenca de una quebrada ubicada hacia el este con un alineamiento fotogeológico hacia el norte pero no coincide con la zona con problemas”.*

Continúa el informe realizado por la Sección de Sismología y Vulcanología de la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica indicando que “este sistema **(Tárcoles-La Garita, lo indicado en negrita no es del original)** tiene asociado dos tipos de amenaza directas sobre el proyecto vial que son: 1.-Amenaza por ruptura de la falla y 2.-Amenaza sísmica asociada con la aceleración del terreno (efecto vibratorio).” Se menciona en este informe que “con respecto a la amenaza por ruptura de falla, se ha identificado en el Mapa 1 **(referirse al informe de la Sección de Sismología y Vulcanología de la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica, lo indicado en negrita no es del original)**, las zonas del Proyecto vial que serían afectadas por las fallas activas y las zonas de exclusión asociadas a estas, dentro de las cuales puede ocurrir la deformación tectónica. La ocurrencia de un terremoto con las magnitudes máximas probables en una falla del sistema **($M_s=7,0$, con periodos de retorno entre 100 y 500 años, lo indicado en negrita no es del original)**, podría originar los desplazamientos promedio y máximos del terreno anteriormente calculados, y por tanto afectar tanto la carretera como los puentes. El tipo de daños que podrían esperarse son por consiguiente, rupturas del suelo con magnitudes de deslizamiento relativo que podrían ser simples o múltiples, sobre los elementos estructurales de las carreteras y puentes en las zonas indicadas en el mapa 1 **(referirse al informe, lo indicado en negrita no es del original).**”

Continua diciendo que “Con respecto a la amenaza sísmica, la ocurrencia de un terremoto de magnitud intermedia a alta, en alguna de las fallas del sistema Tárcoles-La Garita y en los enumerados en el punto 3 **(referirse al informe, lo indicado en negrita no es del original)**

generaría altas aceleraciones dentro del área donde se ubicará el proyecto vial con sus diferentes obras civiles, como son la carretera y los puentes. Esta amenaza sísmica implicaría los siguientes posibles efectos sobre el proyecto vial: 1.- Inestabilidad de los taludes de la carretera y puentes, con posibilidad de deslizamientos y caída de rocas, y 2- Asentamientos y agrietamientos de la carretera y puentes.”

Posteriormente en este mismo informe se incluyen una serie de recomendaciones, entre las que se destacan dos:

- “Diseñar los taludes, rampas de aproximación a los puentes y pasos de quebradas, con un margen de seguridad apropiado para minimizar la amenaza por deslizamientos, terraplenes, caída de rocas y posibles avenidas de lodo o lahares dentro del cauce de los ríos que bajan con fuerte pendiente, desde las laderas de los Montes del Aguacate. Se estima necesario que durante la ejecución del proyecto vial se consideren adecuadamente las características de la estructura geológica al definir los parámetros de diseño de los taludes y rellenos.”
- “Que al efectuar obras de infraestructura en el área, como: estabilización de taludes, instalación de gaviones, sitios de escombrera, cimentaciones de los puentes, grandes rellenos para rampas de puentes y alcantarillado y otros, sean considerados los datos obtenidos de PGA y el rango de períodos predominantes, a fin de mitigar el grado de amenaza de las fuentes sísmicas y el efecto de resonancia en futuras obras de infraestructura.”

Se entiende entonces que la ubicación de las fallas geológicas que podían afectar el proyecto estaba identificada *a priori*, descartando que alguna de ellas pasara por el tramo en estudio (Est. 46+780 a 46+860), y que existieron recomendaciones para el diseño de obras geotécnicas y estructurales considerando la amenaza sísmica de la zona, que debieron, en principio, ser acatadas. Se debe decir que, con respecto a las obras geotécnicas como taludes y rellenos, no se tiene certeza si estas consideraciones fueron tomadas en cuenta, pues no se tuvo acceso a memorias de cálculo ni planos geotécnicos de taludes o rellenos para las obras ubicadas en el tramo 46+780 a 46+860, donde se pueda inferir que se haya considerado la amenaza sísmica en el diseño de las obras geotécnicas (para la zona sísmica III, donde se ubica el proyecto el Código de Cimentaciones de Costa Rica, en su última versión, recomienda los siguientes coeficientes dinámicos para los distintos tipo de suelo: para el suelo tipo S1 un valor de 0,15 y para los suelos tipo S2, S3 y S4 un valor de 0,20).

Se analizó igualmente el informe “Estudio geológico-geotécnico Paso Crítico Dantas” preparado por Imnsa (1997), en el cual se incluye una figura (Figura 4.5 del informe), que permite inferir que el tramo 46+800 se ubica en una zona de materiales de deyección (conjunto de materia desprendida de una montaña). La Figura 1 muestra la ubicación de la ruta y el Est. 46+800 con respecto a la zona de materiales de deyección indicada en la Figura 4.5 del informe realizado por Imnsa. Se lee en el “Informe Final Preliminar II Fase” presentado por Insuma en 1999 que para el Paso Dantas “la zona debajo del nivel del ferrocarril está cubierta por un espesor variable de bloques de lavas y suelo caídos de la parte superior de los cerros, que tienden a acumularse hacia los niveles inferiores, antes de la pendiente abrupta para alcanzar el nivel del río” y que **“en la parte inferior de las laderas los materiales son débiles constituidos por rellenos de suelo y roca”** (negrita no está en el original). Cabe destacar que la palabra “relleno” en este caso se refiere a un *coluvio*, que es un depósito natural de materiales desprendidos y no una obra artificial. Es importante recordar que la textura o apariencia a la vista de un coluvio podría ser considerada similar a la de un relleno artificial no

compactado debido a que consiste básicamente de bloques (fragmentos de roca) en una matriz fina (suelo residual).

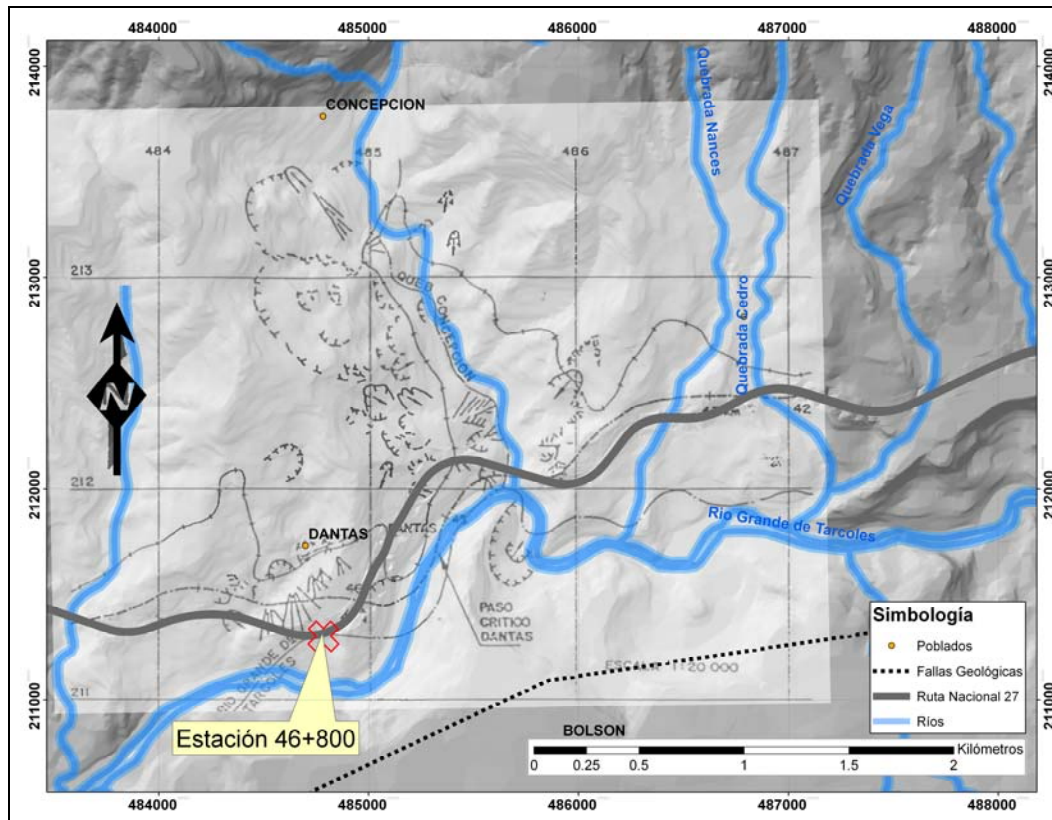


Figura 1. Ubicación de la RN 27 y el Est. 46+800 con respecto a la zona de materiales de deyección indicada en la Figura 4.5 del informe realizado por Imnsa. Preparado por LanammeUCR, 2010. Adaptado de la Figura 4.5. del informe “Estudio geológico-geotécnico Paso Crítico Dantas” (Imnsa, 1997).

Se examinó también el informe “Estudio Geotécnico Diseño Final de Cortes y Rellenos Críticos del Tramo Ciudad Colón-Orotina” preparado por Imnsa Ingenieros Consultores S.A. y Greiner, Inc. en 1999, en el cual se hace una recopilación de estudios existentes a esa fecha, relacionados con el proyecto San José-Caldera, y una zonificación geológico-geotécnica del corredor. Se destaca que en la zonificación geológica-geotécnica realizada se identificaron tramos del corredor no caracterizados, como fue el tramo que abarca la sección de relleno entre los estacionamientos 46+780 a 46+860, no teniendo evidencia, de acuerdo a la información suministrada al LanammeUCR, del porqué de esta situación. Además, en dicho informe, en la Sección IV, se hace un análisis y diseño de los rellenos, dejando por fuera del análisis el tramo en referencia, tanto de la lista de rellenos críticos como de la de rellenos especiales.

En el informe “Estudio Geotécnico Informe Anexo: “Diseño Final de Cortes y Rellenos Críticos”” realizado por Imnsa Ingenieros Consultores S.A. y Greiner, Inc., también en 1999, se omite de igual manera el estacionamiento 46+800 como punto con un diseño específico de relleno.

Además, el informe “Evaluación geotécnica para definir las pendientes de los cortes a realizar en la carretera San José-Caldera y Caracterización Geotécnica de los sitios Paso Dantas y Paso Pancho Mora; Informe de Avance No. 1: Revisión de la información existente”, presentado por Insuma en agosto de 2006, se hace una revisión, evaluación e integración de la información existente para el proyecto. Se rescata de este informe la cantidad de estudios que habían sido realizados a la fecha, un total de 26. En dicho informe solamente se hizo una revisión de la información existente; no obstante, Insuma emite tres conclusiones que se transcriben a continuación.

- “Se analizaron con detalle los documentos indicados en la Tabla 1 (**los 26 informes, lo indicado en negrita no es del original**) llegando a las siguientes conclusiones:
 - La información es abundante, pero está concentrada en el tramo II (Ciudad Colón-Orotina).
 - Los estudios realizados son de buena calidad y se cuenta con perforaciones y ensayos en todo el trazado de la vía San José-Caldera (enfaticando en el tramo II).
 - Existen sitios de consideración particular, que incluyen cortes y rellenos y zonas de acuíferos artesianos. Estos no son susceptibles de un tratamiento generalizado.”

(Referirse a las tablas 5, 8 y 9 del informe “Evaluación geotécnica para definir las pendientes de los cortes a realizar en la carretera San José-Caldera y Caracterización Geotécnica de los sitios Paso Dantas y Paso Pancho Mora; Informe de Avance No. 1: Revisión de la información existente” (Insuma, 2006).

Se comparte la conclusión sobre la calidad de los estudios realizados, no obstante se debe decir que los estudios revisados por Insuma, como fue el “Estudio geotécnico Diseño Final de cortes y rellenos críticos del tramo Ciudad Colón-Orotina” realizado por Imnsa en 1999, dejan unos segmentos sin caracterizar en el tramo II y que precisamente, en algunos de ellos, se han reflejado problemas en las secciones de relleno. Es importante resaltar además la indicación que se hacía en ese momento de analizar de forma particular los tramos con cortes y rellenos que requerían de un tratamiento individual, que como Insuma indica “no son susceptibles de un tratamiento generalizado”.

Insuma recomienda en su informe “Identificar claramente los sectores donde no aplican estas soluciones (**las soluciones generalizadas, lo indicado en negrita no es del original**), detallando las soluciones particulares” y “Plantear un esquema de supervisión adaptable que facilite el proceso”.

Se destaca que el LanammeUCR, con base en la información suministrada por el Consejo Nacional de Concesiones, no encontró evidencia que estas dos recomendaciones se hubieran acatado, la primera antes de la etapa constructiva y la segunda planteada antes de la etapa constructiva y puesta en operación durante la construcción de las obras geotécnicas, como fue la sección de relleno del tramo analizado.

Se analizó también la “Nota sobre la visita efectuada al tramo San José-Caldera los días 12 y 13 de octubre de 2006”, visita realizada por el consultor español Dr. José María Rodríguez Ortiz de Gamma

Geotécnica S.L. Se destaca la siguiente recomendación realizada por el Dr. Rodríguez Ortiz en dicha nota:

- “Que exista en obra un geólogo con alguna experiencia en formaciones volcánicas y geotecnia vial para el registro de las excavaciones y definición *in situ* de soluciones constructivas. Es posible que en esta última decisión tenga que estar auxiliado por un especialista”.

El LanammeUCR, con base en la información suministrada por el Consejo Nacional de Concesiones, no encontró evidencia que esta recomendación se hubiera acatado, pues no se tienen certezas que se hubiera asignado durante la etapa constructiva, por cualquiera de las partes involucradas en el proyecto un geólogo, ingeniero geotecnista o similar, para supervisar, inspeccionar o controlar las obras que así lo requirieran, ni evidencia de registros de excavaciones y definición *in situ* de soluciones constructivas.

Por último como parte de los documentos referenciales se analizó el informe “Evaluación geotécnica de cortes y rellenos a ser realizados en la vía San José-Caldera (Tramo II, Ciudad Colón-Orotina), Informe Complementario”, preparado por Insuma en diciembre de 2006. Este informe de la empresa Insuma incluye una revisión de la información contenida en el informe anterior (“Evaluación geotécnica para definir las pendientes de los cortes a realizar en la carretera San José-Caldera y Caracterización Geotécnica de los sitios Paso Dantas y Paso Pancho Mora; Informe de Avance No. 1: Revisión de la información existente”) y donde emite nuevas recomendaciones. El informe menciona que las recomendaciones de cortes y rellenos se sistematizaron para dar forma a la solución en cada sitio pero que **no corresponden a diseños de las obras y que estas tareas deben ejecutarse en etapas próximas.**

El LanammeUCR, con base en la información suministrada por el Consejo Nacional de Concesiones, no encontró evidencia que esos diseños finales de las obras geotécnicas mencionadas se hayan realizado ni de que dichos diseños geotécnicos fueran incluidos en planos en ninguna de las etapas del proyecto.

Desde un punto de vista hidrológico e hidráulico, debe señalarse la importancia de contar con estudios hidrológicos adecuados, de una calidad adaptada a la magnitud del proyecto y que utilicen información de referencia representativa de la zona donde se desarrolla el proyecto, pues de estos dependerán los valores de entrada utilizados para el diseño de las obras hidráulicas.

Se desprende del análisis del estudio hidrológico preparado para el proyecto que se utilizó de referencia una estación no representativa de las condiciones climatológicas del proyecto (Puntarenas), lo que aunado a diferencias entre la ecuación para el cálculo de intensidades utilizada para el proyecto y la recomendada por Vahrson y Alfaro (1992) para la estación de Puntarenas y a la utilización de coeficientes de escorrentía menores a los recomendados, se obtuvieron resultados que subestimaron los caudales máximos de diseño y la capacidad hidráulica requerida de obras hidráulicas de manejo de agua de escorrentía y subterráneas.

4.2. Análisis de la información de diseño

El diseño de la sección de relleno del tramo 46+780 a 46+860 se analizó desde dos puntos de vista: del diseño geotécnico de la sección de relleno y del diseño de las obras complementarias de manejo de aguas de escorrentía y subterráneas.

El diseño geotécnico se analizó con base en los documentos referenciales indicados en la sección 3, y con base en documentos de diseño, como pueden ser planos y especificaciones técnicas, generados para el proyecto, en especial para la sección de relleno del tramo en mención, facilitados al LanammeUCR por el Consejo Nacional de Concesiones.

Se hace la aclaración que los estudios referenciales emiten criterio al respecto de taludes de corte y rellenos solamente a nivel de recomendación, pues no corresponden a diseños definitivos, tal y como se indica en muchos de estos. Se copia textualmente la siguiente aclaración de la página 19 del informe “Evaluación geotécnica de cortes y rellenos a ser realizados en la vía San José-Caldera (Tramo II, Ciudad Colón-Orotina)”, preparado por Insuma en setiembre de 2006:

- “Esta información (**las recomendaciones de obras y trabajos de estabilización, lo indicado en negrita no es del original**) puede considerarse como un “pre-diseño”, pues se requiere el diseño específico de las obras de soporte. Su implementación variará con relación a esta propuesta, pues el diseño requiere necesariamente el levantamiento de mayor y más detallada información de campo. “

A partir de la información facilitada por el Consejo Nacional de Concesiones al LanammeUCR, no hay evidencia que se haya realizado ese diseño específico de las obras en el segmento analizado (46+780 a 46+860). Más aún, para el segmento en referencia, solo hay evidencia que éste fuera analizado desde el punto de vista de talud de corte y no de relleno, y solamente a nivel de recomendación.

Adicionalmente, no hay evidencia de planos o especificaciones técnicas que indicaran a la empresa constructora los lineamientos técnicos que debían seguirse para la construcción de estas obras, con excepción del manual “Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes CR-77” que es de acatamiento obligatorio.

No obstante, se hallaron planos de diseño geométrico y de secciones típicas que muestran, a nivel geométrico solamente, la inclinación del talud de corte del segmento en estudio y, en algunos casos, la inclinación de la sección de relleno, sin dar mayor detalle sobre las características geotécnicas de obra de relleno a ser construida para esta sección.

Se analizaron los planos SJC-II-DP-DG-8.310-0 con fecha de diciembre 2007, firmados por la supervisora y la gerencia del proyecto, SJC-II-DP-DG-8.10-2 con fecha de junio de 2009 y SJC-II-DP-DG-8.238-3 con fecha de noviembre de 2009, que contienen secciones transversales cada 20 metros para el tramo comprendido entre los estacionamientos 46+760 a 46+860 y que corresponden a diseño geométrico. Entre las versiones de planos se identificaron diferencias sustanciales, sin tener evidencia del porqué, siendo la más importante la discrepancia en el perfil del terreno natural. Se aclara que la versión de planos SJC-II-DP-DG-8.10-2, con fecha de junio de 2009 (ya se había

iniciado la construcción del tramo II) no contiene secciones transversales para los estacionamientos 46+140 a 48+420.

Se resalta que, según la información a la que tuvo acceso el LanammeUCR, no hay evidencia de especificaciones técnicas asociadas a estos planos, o a otros, para la construcción de los rellenos, incluyendo la sección de relleno del tramo 46+760 a 46+860, con excepción de las incluidas en el manual de “Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes CR-77”, que es de acatamiento obligatorio.

También se analizaron los planos SJC-II-DP-DG-4.1-4 y SJC-II-DP-DG-4.2-4 con fecha de noviembre de 2009 (ya iniciado el periodo de construcción del proyecto), que muestran el detalle de las diferentes secciones típicas especificadas para el proyecto, entre estas la correspondiente al tramo entre los estacionamientos 46+760 a 46+860. Llama la atención que estas secciones, tal y como se indica en planos, son solamente diseños de carácter geométrico, y por ende no hacen referencia a especificaciones de materiales o constructivas del relleno, aunque sí muestran un detalle del banqueo a realizar. No obstante, se debe aclarar que el detalle típico de las secciones incluidas en los planos fue realizado para aplicarse en tramos (i.e., tratamiento generalizado; ver sección de análisis de la investigación), y para casos, como el del tramo 46+780 a 46+860 no se encontró evidencia que fuera revisado y adaptado a un diseño particular para este punto, como fue recomendado en muchos de los informes realizados previo a la etapa de construcción.

Desde un punto de vista de obras hidráulicas, según consta en el plano SJC-11-DP-DR-13.4.49-2 (Aprobado por la Supervisora y la Gerencia del Proyecto), para esta zona se habían especificado dos alcantarillas de 76 centímetros de diámetro en los estacionamientos 46+735.87 y 46+860, ubicadas antes y después de la zona fallada. Adicionalmente, en los mismos planos aparece especificadas cunetas a ambos lados de la vía para la recolección y disposición de las aguas de escorrentía. Para el caso de las alcantarillas se especifica entre otros el tipo de asiento o cama, así como el tipo de cabezal de entrada y de salida, aspectos que se comentaran en la siguiente sección.

Del análisis de la información recibida se puede concluir que no existe ni existió ningún diseño geotécnico o especificación en planos para la construcción de un relleno compactado en el segmento 46+780 a 46+860, a pesar de que los estudios realizados indican que en la zona existen condiciones que no se ajustan a las recomendaciones generales y requieren de diseños específicos. Los diseños específicos habrían requerido de estudios adicionales sobre la estratigrafía, el agua subterránea y las propiedades físicas y mecánicas de los materiales presentes, ninguno de los cuales fue realizado antes de la construcción del proyecto.

4.3. Análisis de la construcción y labores de mantenimiento

La construcción geotécnica de la sección de relleno se analizó con base en información generada durante y posterior a la etapa constructiva, que pudiera ser usada de referencia para examinar las condiciones de construcción del dicha sección, y con base en información recolectada durante inspecciones técnicas realizadas por ingenieros del LanammeUCR.

La información facilitada al LanammeUCR por el Consejo Nacional de Concesiones para esta etapa, aunque vasta en cantidad de documentos, es limitada en cuanto a la información que contiene

referente a la construcción del tramo en estudio, lo que llama la atención pues se considera que es en esta etapa donde la mayor cantidad de informes, reportes, etc., se deberían generar, donde se registren el seguimiento a las labores de inspección, supervisión, resultados de ensayos de laboratorio y campo, fotografías del avance de la obra, inconvenientes presentados, levantamientos topográficos parciales o finales del banqueo de la sección de relleno, etc.

Se revisó el Cuaderno de Bitácora de Obra (Contrato del CFIA OC-427238-EX) correspondiente a la Sección II del proyecto para verificar si en el mismo se habían registrado anotaciones importantes durante el proceso constructivo de la sección de relleno. No obstante, este documento solo se encontraron anotaciones donde se indicaba que se trabajaba en el *movimiento de tierras* o en el *relleno* en ese tramo (se copian los términos anotados en el Cuaderno de bitácora de obra en letra cursiva), sin hacer referencia alguna a ensayos o pruebas realizadas al material usado durante el proceso constructivo, al proceso constructivo seguido, a resultados de ensayos de laboratorio y de campo, a la conformación final del banqueo para la sección del relleno, acabado de las obras de drenaje subterráneo, etc. No es hasta el 27 de septiembre de 2010, que se anota en el Cuaderno de Bitácora de Obra que “El pasado 24 de septiembre fue presentado a la Administración la propuesta de solución a los problemas de estabilidad del relleno ubicado en 46+800.” Las acciones de solución que se indican en el Cuaderno de Bitácora de Obra se analizarán en la siguiente sección.

Con respecto las obras hidráulicas para manejo de aguas de escorrentía y aguas subterráneas, se debe hacer mención a las condiciones constructivas de la alcantarilla que atravesaba el relleno cerca del estacionamiento 46+800. Según la información facilitada por el CNC al LanammeUCR, la alcantarilla ubicada en este punto no estaba indicada en planos (según planos SJC-II-DP-DR-13.4.46-2 con fecha de enero de 2008), y tampoco existen registros en el Cuaderno de Bitácora de Obra de la decisión técnica o constructiva que llevara a la medida de colocarla donde fue ubicada.

No se tiene certeza si esta alcantarilla tiene la capacidad hidráulica necesaria para manejar los caudales que pudieran llegarle, pues este drenaje longitudinal recoge agua de escorrentía del talud vecino anterior y de la carretera por varias decenas de metros. Esta agua se une con la de la pequeña cuenca que se define en el punto donde se colocó la alcantarilla, la cual muestra en la Figura 2.

Según lo observado por ingenieros del LanammeUCR, la alcantarilla fue colocada dentro del cuerpo del material ubicado en la sección de relleno. No se cuenta con evidencia de la construcción de una cama o asiento sobre la cual se colocara la alcantarilla, y si la hubo, no hay evidencia de registros que detallen la calidad y acabo de la misma. Según lo observado por ingenieros del LanammeUCR durante las visitas realizadas, los tubos de la alcantarilla de concreto no fueron unidos con mortero o lechada de cemento, empaques de hule en sus empalmes o algún otro compuesto que sirviera para sellar las juntas. La ubicación de la tubería dentro del material ubicado en la sección de relleno (sobre materiales blandos) pudo provocar que este al desplazarse indujera la separación de las juntas de la alcantarilla y permitiera la infiltración de parte del agua que pasaba por la misma dentro del cuerpo del material ubicado en la sección de relleno, aumentando el peso de la masa de suelo, aumentando las presiones de poro y disminuyendo los esfuerzos efectivos. Si se considera que la primera grieta (primer desplazamiento del material ubicado en la sección de relleno) se registró el 23 de agosto, a partir de esa fecha se podría suponer que se estaba presentando infiltración de parte del agua que corría por la alcantarilla en el material ubicado en la sección de relleno, con las condiciones mencionadas anteriormente.

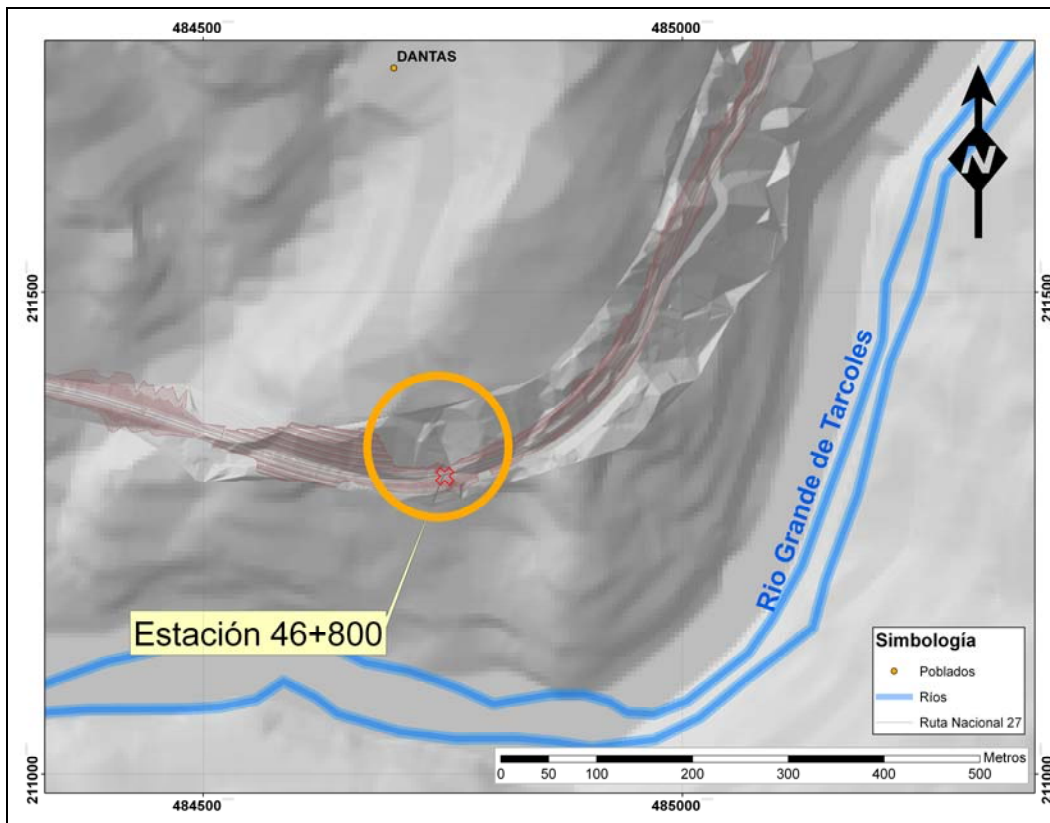


Figura 2. Modelo de elevación digital que muestra la ubicación de la cuenca que se define en el punto donde se colocó la alcantarilla (Est. 46+800). Preparado por LanammeUCR, 2010.

Se desprende del informe de Insuma 2937A-10 que el perfil, a partir de una perforación por rotación, está conformado por cuatro estratos en sus primeros 20 metros. Según este informe, el primer estrato, con un espesor de seis metros está conformado por un relleno de materiales finos de consistencia blanda a firme. El segundo estrato corresponde con un relleno de material granular y bloques en matriz fina de 3 metros de espesor. El tercer estrato es un suelo natural de consistencia blanda a media, de 4,5 metros de espesor y el último estrato está conformado por roca meteorizada con mejores condiciones mecánicas. Según se indica en el Cuadro 1 de dicho informe, el primero y tercer estrato presentan valores bajos del número de golpes del SPT, lo que puede ser indicativo que en caso de que se hubiera realizado el proceso de compactación del material no fue el adecuado ni se ajustó a los requerimientos de CR-77.

A partir de esta información y de la recopilada por ingenieros del LanammeUCR durante visitas al sitio, se puede inferir que el material ubicado en la zona de relleno tiene condiciones similares al suelo residual encontrado en el lugar, siendo este una matriz de arcilla plástica con bloques de material de préstamo, lo cual no corresponde con lo que establece el manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes CR-77 en la Sección 203 Excavación y Terraplenado.

Aunado a lo anterior, se identificaron deficiencias constructivas en las obras hidráulicas asociadas a la sección de relleno, especialmente la ausencia de disipadores de energía adecuados y la ubicación de la salida de la alcantarilla a media altura del talud formado por el material ubicado en la sección de relleno, ambas condiciones que favorecen la saturación de los suelos, la erosión y la inestabilidad.

Por último, se debe comentar las evidencias escritas encontradas respecto a labores de mantenimiento. Según consta en el “Informe Ejecutivo No. 10” presentado por la Supervisora Cacisa-Cano Jiménez en septiembre de 2010, el ente concesionario tiene dentro de su Programa de Actividades de Rehabilitación, la rehabilitación de taludes y estructuras de contención “según necesidad”. Se menciona en la página 27 de este informe que la limpieza de derrumbes es una actividad que el Concesionario ejecuta según necesidad, para lo cual ha dispuesto equipo de trabajo para la limpieza de desprendimientos de material de los taludes (solución reactiva y no preventiva). No se menciona nada sobre labores de mantenimiento de las secciones de relleno y de las obras hidráulicas que ahí se ubican. Si se analiza el impacto que tiene la falla de una sección de relleno sobre la falla de un talud de corte, se puede inferir que lo primero requiere igual o mayor atención que el segundo tipo de falla.

4.4. Análisis de la atención a la falla de la sección de relleno

Paralelo a las condiciones de construcción, la situación presentada en la sección de relleno ubicada entre los estacionamientos 46+780 a 46+8960, se considera estuvo asociada al mantenimiento dado a las obras y a las decisiones tomadas para la atención preventiva y correctiva del problema.

Según se hace constar en el Informe de Supervisión No. 10 presentado por la Supervisora Cacisa-Cano Jiménez, desde el 23 de agosto de 2010 se había identificado un agrietamiento en el pavimento que se reflejaba en la carpeta asfáltica.

Según consta en el mismo informe, para el 3 de septiembre de 2010, además de la grieta en la carpeta asfáltica, el movimiento del terreno produjo un movimiento en la alcantarilla rígida de concreto colocada en ese punto, provocando que las juntas se separaran, permitiendo el ingreso de agua al cuerpo del talud por las juntas, provocando la saturación del material ubicado en la sección de relleno e incrementando el peso del mismo. Se transcribe de dicho informe los siguientes comentarios:

- “...los movimientos del terreno del talud del Km 46+800 se han dado en los últimos días, provocaron que las juntas de los tubos de concreto en esa alcantarilla se separaran ligeramente, permitiendo que el agua ingrese y perjudique la estabilidad del talud.

Por esta razón es importante que se sellen lo más pronto posible las juntas de los tubos de la alcantarilla, lo cual fue recomendado al Ing. Germán de la Torre (Constructora San José-Caldera) en el sitio el día 2 de septiembre de 2010...”

Posterior a esos días, el material de la sección de relleno continuó movilizándose, llegándose a discutir si se trataba de un asentamiento del material de la sección de relleno o de un deslizamiento. Esto era importante definirlo para conceptualizar la solución.

Del “Informe de Supervisión No. 10” presentado por la Supervisora Cacisa-Cano Jiménez en setiembre de 2010 se desprende que el primer registro de una grieta en este tramo se registro el 23 de agosto de 2010. El mismo informe explica el avance que tuvo la grieta en los días inmediatos a ese primer registro, con una tasa de movimiento lenta al principio y luego mucho más rápida, incrementándose todavía más durante el periodo de lluvias, como se refleja, igualmente, en la Figura 3 (Resultados del control topográfico hasta el 14/09/2010 en la estación 46+800 de la Carretera San José Caldera), incluida en el informe 2937A-10 de Insuma, con fecha del 4 de octubre de 2010.

De fotografías tomadas en esas fechas y de ese primer registro se puede concluir que las grietas correspondían a un deslizamiento y no, como se podría suponer erróneamente, a un asentamiento por compresibilidad del material ubicado en la sección de relleno. La evolución típica de un asentamiento de un relleno de material compresible muestra una tasa muy rápida al inicio de la carga, y se va reduciendo exponencialmente con el transcurso del tiempo según la teoría de Terzaghi. Además, la rapidez del fenómeno no depende de las lluvias. No obstante, el agrietamiento en el terreno presentó un comportamiento lento al inicio y aumentó rápidamente con la presencia de lluvias (Ver Figura 3.Resultados del control topográfico hasta el 14/09/2010 en la estación 46+800 de la Carretera San José Caldera del informe 2937A-10 de Insuma). La posibilidad de que fuese un asentamiento se descarta con solamente considerar que la aplicación de la carga máxima se dio al término de la construcción de la sección y, consecuentemente, los asentamientos debieron iniciar en ese momento y no varios meses después de que la carretera fue abierta al público.

Se destaca la conclusión No. 9 que la empresa Ingeotec hace en su informe ING-144-2010, donde menciona “Se recuerda que cuando comenzaron las labores de emergencia para alivio de peso del relleno, se produjo un rompimiento de un intenso flujo de agua existente a nivel superior del relleno”, lo que hace ver que efectivamente el material ubicado en la sección de relleno estaba saturado; lo que a su vez pone en evidencia el mal funcionamiento o inexistencia de sub drenajes en esta sección de relleno.

Cada vez que se presentaba un desplazamiento del material de la sección de relleno, se procedía a sellar las grietas. El sellado de las grietas permitía por lo menos evitar que se pudiera infiltrar agua de escorrentía al relleno (esto si efectivamente el sellado impermeabilizada totalmente las grietas), pero si lo que se quería era certificar la seguridad de los usuarios, lo más recomendable hubiera sido cerrar el tramo y habilitar el paso (sin necesidad de esperar a que hubiera fallado el tramo) por medio de una estructura alterna.

Si se considera que el evento que se había presentado era un deslizamiento, la atención que se le dio al problema no fue el más adecuado. Como se desprende del “Informe de de supervisión No. 10) de la Supervisora Cacisa-Cano y del Cuaderno de Bitácora de Obra (Contrato del CFIA OC-427238-EX), el primer registro de la grieta se dio el 23 de agosto, y no fue hasta el día 27 de septiembre que se hizo la anotación en Bitácora indicando que se había procedido con “la nivelación de superficie de ruedo, con la frecuencia necesaria” (superposición de carga muerta adicional por sobre capas de mezcla asfáltica). Esto implica la aplicación de cargas muertas adicionales a una masa de suelo que ya estaba presentando movimientos(al momento de la falla de la sección de relleno se midieron sobre espesores de mezcla asfáltica de hasta metro y medio), además de las cargas dinámicas (vibración) que podía ser aplicada a la masa de suelo por el paso de vehículos, tanto livianos como pesados.

Según información facilitada al LanammeUCR por el Consejo Nacional de Concesiones, la solución de diseño se basó en una sola perforación. Adicionalmente se hizo el retro análisis de la falla en condición no drenada para determinar las propiedades del estrato del suelo en condición drenada, con ausencia de resultados de ensayos de laboratorio de propiedades mecánicas así como la memoria de cálculo con referencias metodológicas conocidas que respalden la solución escogida. Se quiere resaltar que las resistencias al cortante calculadas por retro análisis deben ser usadas con cautela si ha ocurrido falla progresiva, como se considera es el caso de la sección de relleno del tramo 46+780 a 46+860.

Resultados de laboratorio son importantes para proveer información que permita guiar el retro análisis de las resistencias a cortante. Para este caso, no se tiene evidencia que se hayan realizado pruebas de laboratorio. Aún cuando no se contara con resultados de laboratorio, siempre es posible realizar estimaciones razonables del ángulo de fricción efectivo, basándose en propiedades índices, que debieran obtenerse por medio de ensayos a los materiales.

Se debe tener en cuenta que si las resistencias al corte decrecen significativamente al momento de la falla, dado a cambios en la presión de poro o al reblandecimiento de la estructura del suelo, las resistencias al corte calculadas por retro análisis pueden no ser las apropiadas para el diseño de las medidas correctivas.

Por otro lado, se resalta que la memoria del diseño estructural de los pilotes planteados en la solución (Informe 3124-10 de Insuma) hace referencia a un diseño de pilotes para el Puente sobre Río Segundo, incluyendo en los diagramas del modelo cargas que no corresponden con las indicadas en el informe geotécnico asociado, situación que se recomienda sea revisada.

5. Conclusiones

1. A nivel general se considera que la investigación geológica realizada para el proyecto es de una calidad buena; no obstante la misma dejó sin caracterizar algunos tramos del corredor, entre estos el comprendido entre los estacionamientos 46+780 a 46+860.
2. Algunos de los estudios realizados antes de iniciar la construcción presentan soluciones a nivel de recomendación y, como se indica en estos, se debían posteriormente realizar diseños específicos para los tramos que así lo requerían. No se tiene evidencia que ese diseño específico se hubiera realizado antes de iniciar la etapa de construcción, aunque sí se encontraron diseños específicos realizados posteriores al inicio de la construcción del proyecto. No se tiene evidencia que las obras hayan sido construidas considerando amenazas naturales como amenaza sísmica y otras amenazas geológicas y climatológicas.
3. No hay evidencia, a partir de la información suministrada por el Concejo Nacional de Concesiones al LanammeUCR, que existiera un diseño particular para la sección de relleno ubicado entre los estacionamientos 46+780 a 46+860. Esto, pues a partir de la información revisada se constató que solo existen soluciones, a nivel de recomendación, para zonas de corte y zonas de relleno, y esta fue clasificada solamente como de corte. Se tuvo acceso a diseños finales de obras geotécnicas específicas, muchos de ellos realizados posterior a los inicios de la construcción de la obra en febrero de 2008; no obstante, ninguno corresponde con la sección de relleno del tramo en referencia.
4. No se tiene constancia de registros realizados por ingenieros de proyecto, inspectores o supervisores durante la construcción de los taludes de corte y terraplenes efectuados a lo largo del proyecto. No se tiene evidencia de diarios de proyecto, cuadernos de bitácora del proyecto, libretas de taludes y de rellenos entre otros, donde se registrarán observaciones de los ingenieros responsables del diseño e inspección de las obras geotécnicas del tramo analizado. El LanammeUCR solicitó al Concejo Nacional de Concesiones, mediante oficio LM-IC-PI-SJC-4-2010 copia de las libretas de taludes del proyecto, solicitud que fue trasladada por el CNC mediante oficio SJC-2169/11-2010 a la Supervisora San José-Caldera, y respondido por esta última mediante oficio SSJC-073-NOV-2010, en el cual indica que “Esta Supervisora no encontró dentro del Expediente Administrativo digitalizado ningún archivo con este nombre. Se desconoce a qué se refiere el nombre “Libreta””. Lo anterior hace suponer que efectivamente no se registraron la construcción de los taludes y relleno en libretas o diarios de proyecto, o en su defecto que no fueron entregadas por la constructora a la supervisora para su respectiva revisión y control.

Adicionalmente, no se tiene evidencia de que hubiera geólogos o ingenieros especializados en geotecnia e hidráulica durante la construcción de los taludes, los rellenos y las obras hidráulicas asociadas, que funcionaran como inspectores y supervisores de estos trabajos.

5. Se considera que la causa principal de la falla de la sección de relleno fue la saturación del suelo ocurrida por errores de construcción y mantenimiento de las obras hidráulicas (e.g., cunetas, alcantarillas) construidas. La cuneta interior, la cual descargaba el agua al talud formado por el material ubicado en la sección de relleno, recogía no solamente el agua de

escorrentía de la carretera y taludes por varias decenas de metros, sino que se juntaba con el agua de escorrentía correspondiente a la pequeña cuenca que se define en el punto donde se colocó la propia alcantarilla. El sitio donde se descargaba no tenía ningún tipo de tratamiento para evitar el arrastre de finos del material más superficial y la infiltración del agua en el cuerpo de la masa de suelo ubicado en la sección de relleno.

Adicional a esto, con el desplazamiento inicial del material ubicado en la sección de relleno, la alcantarilla de concreto prefabricado se desacopló en sus juntas, infiltrándose agua al cuerpo de la masa de suelo ubicado en la sección de relleno por esos puntos. Estas condiciones propiciaban el aumento de peso de la masa de suelo por la saturación del material.

El desacople de las juntas de la alcantarilla de concreto se puede decir fue efecto de los primeros movimientos de la masa de suelo de la sección de relleno, pero posteriormente se convirtió en causa de la aceleración de la falla, hasta que fue “corregida” insertando un tubo de PVC dentro de la alcantarilla de concreto.

Se debe destacar que a pesar que esta fue una de las causas principales de la falla de la sección de relleno, su re diseño no fue incluido en la solución propuesta.

6. En el informe 3124-10 de Insuma, complemento del Estudio Geotécnico del deslizamiento del relleno de la estación 46+800 (Informe 2937-10 de Insuma) se incluye una revisión de la capacidad de los pilotes propuestos como parte de la solución. Las páginas correspondientes a esta revisión hacen referencia al puente sobre el Río Segundo, por lo que se recomienda revisar el diseño y revisión propuesta.
7. En el tramo en referencia y en muchos otras secciones de relleno se ha observado la ubicación de desfuegos de alcantarillas, ubicadas en el cuerpo del material de la relleno, en las partes medias o altas de los mismos. Esta solución, según se observó en muchas ocasiones, no está asociada a una estructura de disipación que permita evitar la erosión del material ubicado en las secciones de relleno. Desde el punto de vista de la obra hidráulica, esta ubicación tampoco es recomendable, pues de presentar un movimiento de la masa de suelo, se podrían dañar las juntas de las alcantarillas, permitiendo la infiltración del agua recolectada dentro del cuerpo de la masa de suelo y la saturación de la misma.
8. Se observó en muchos sectores de la ruta la existencia de contracunetas no revestidas, lo que permite la infiltración y saturación de los taludes a través de la acumulación de agua de escorrentía en las zanjas realizadas para la construcción de contracunetas.
9. Se considera que ante las condiciones geológico-geotécnicas tan complejas de algunos tramos como Paso Poncho Mora y Paso Dantas, ante las dificultades previstas en muchos informes para los taludes de corte y rellenos de estas zonas y otras considerados como críticas o especiales, y ante las limitaciones que se presentaron para construir algunos taludes hubiera sido conservador retrasar la apertura de la carretera, lo que hubiera permitido estudiar y analizar el comportamiento que tendrían los tramos y obras críticas (e.g., taludes construidos en zonas con hidrotermalismo) ante las precipitaciones de la época lluviosa, además que habían algunas obras hidráulicas, como contracunetas, que no estaban concluidas, para



posteriormente poder tomar decisiones correctivas o preventivas de acuerdo a lo observado durante este periodo, sin poner en riesgo a los usuarios de la ruta.

6. Recomendaciones

1. Analizar, por parte del Consejo Nacional de Concesiones, la necesidad de solicitarle al ente concesionario del proyecto San José-Caldera un estudio exhaustivo de las condiciones actuales de otros sitios de relleno, como los ubicados cerca de los estacionamientos 38+700 y 44+500, para verificar las condiciones constructivas de estas estructuras. Para las secciones de relleno que muestren algún tipo de señal de inestabilidad, se recomienda se estudie la necesidad de ser intervenidas de manera preventiva, para evitar llegar al estado de la sección de relleno ubicado entre los estacionamientos 46+780 a 46+860.
2. Revisar, por parte del Consejo Nacional de Concesiones o el ente supervisor representante de la Administración, el apego de las obras construidas a los documentos de diseño existentes (e.g., planos, especificaciones técnicas), y cuando se hallen diferencias solicitar documentos técnicos que permitan respaldar esas condiciones. Para las obras pendientes de construir se recomienda al Consejo Nacional de Concesiones o al ente supervisor representante de la Administración, estudiar la necesidad de solicitarle al ente concesionario la asignación de geólogos o ingenieros especializados y con experiencia en geotécnica vial, para realizar una inspección de las obras que se estén construyendo y aportar soluciones a los problemas, si estos se presentaran y documentos de diseño, como planos o especificaciones técnicas, que respalden la solución que se vaya a construir.
3. Reforzar los sistemas de monitoreo y alerta temprana que haya implementado el concesionario, que tome en consideración factores como lluvia y sismo, para poder alertar de manera preventiva a los usuarios y al ente concesionario ante lluvias de larga duración e intensidades moderadas o fuertes (que puedan producir la saturación del terreno), o ante eventos sísmicos importantes o cualquier otro evento climático o geológico que pueda comprometer la estabilidad de taludes de corte y secciones de relleno. Se recomiendan se estudie la necesidad de utilizar de forma suficiente instrumentación en las zonas que así lo requieran, para poder medir de forma precisa parámetros que permitan prever condiciones de inestabilidad en el terreno. Se recomienda se utilice tecnología que permita la transferencia de información de manera telemétrica, de manera que se minimice la cantidad de personal en sitios susceptibles a deslizamientos, disminuyendo el riesgo.
4. Revisar la existencia de sistemas de manejo de agua de escorrentía y subterránea en los tramos identificados como críticos o especiales en varios estudios o los que han presentado algún tipo de inestabilidad. En los sitios donde existan estos sistemas se recomienda analizar su comportamiento a la fecha y tomar las medidas correctivas, si corresponde, para mejorar su eficiencia y funcionalidad antes de la próxima época lluviosa. Los sistemas de manejo de aguas de escorrentía y subterránea deben contar con desfogues apropiados, que permitan el traslado de las aguas recolectadas a zonas donde no comprometan las propias estructuras a las que sirven.
5. Analizar, por parte del Consejo Nacional de Concesiones, la necesidad de solicitarle al ente concesionario del proyecto San José-Caldera un estudio donde se demuestre la estabilidad de los taludes de corte y zonas de relleno ante eventos sísmicos, según las aceleraciones del terreno esperadas de acuerdo al estudio de amenaza sísmica realizado para el proyecto.



6. Analizar, por parte del Consejo Nacional de Concesiones, la necesidad de solicitarle al ente concesionario del proyecto San José-Caldera se incluya dentro de la solución a la falla de la sección de relleno del tramo ubicado entre los estacionamientos 46+780 a 46+860, el diseño de un adecuado sistema de manejo de aguas de escorrentía y subterránea.

7. Referencias bibliográficas

1. Asociación Costarricense de Geotecnia, Comisión Código de Cimentaciones de Costa Rica. (2009). *Código de Cimentaciones de Costa Rica*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
2. Autopistas del Sol & Constructora San José-Caldera. (2009). *Deslizamientos producidos en Autopista San José-Caldera*. San José, Costa Rica: el autor.
3. Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos. (2003). *Código Sísmico de Costa Rica 2002*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
4. Dirección General de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas y Transportes, República de Costa Rica. (1978). *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes CR-77*. San José, Costa Rica: el autor.
5. IMNSA Ingenieros Consultores S.A. (1997). *Estudio geológico-geotécnico Paso Crítico Dantas*. San José, Costa Rica: el autor.
6. IMNSA Ingenieros Consultores S.A. & Greiner Inc. (1999). *Estudio Geotécnico Diseño Final de Cortes y Rellenos Críticos del Tramo Ciudad Colón-Orotina*. San José, Costa Rica: el autor.
7. IMNSA Ingenieros Consultores S.A. & Greiner Inc. (1999). *Estudio Geotécnico Informe Anexo: "Diseño Final de Cortes y Rellenos Críticos", Tramo Ciudad Colón-Orotina*. San José, Costa Rica: el autor.
8. Insuma S.A. (1988). *Informe Final Preliminar, Segunda Fase, Estudios Geológico-Geotécnicos de Sitios Especiales*. San José, Costa Rica: el autor.
9. Insuma S.A. (2006). *Evaluación geotécnica de cortes y rellenos a ser realizados en la Vía San José-Caldera (Tramo II, Ciudad Colón-Orotina), Informe Complementario*. San José, Costa Rica: el autor.
10. Insuma. (2006). *Evaluación geotécnica para definir las pendientes de cortes y rellenos a realizar en la carretera San José-Caldera y Caracterización Geotécnica de los sitios Paso Dantas y Paso Pancho Mora*. San José, Costa Rica: el autor.
11. LanammeUCR. (2010). *Evaluación de las condiciones de ladera, Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II, Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27*. San José, Costa Rica: el autor.
12. Sección de Sismología y Vulcanología, Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica. (1997). *Estudio de amenaza sísmica y evaluación hidrogeológica para el proyecto de carretera Ciudad Colón-Orotina, Informe Final*. San José, Costa Rica: el autor.
13. Supervisora San José-Caldera. (2010). *Informe de supervisión No. 10, Periodo: Septiembre 2010*. San José, Costa Rica: el autor.

8. Anexos

8.1. Anexo 1. Evolución de la falla de la sección de relleno ocurrido en el tramo entre los estacionamientos 46+780 a 46+860

Se presenta a continuación una cronología de la falla de la sección de relleno que se presentó entre los estacionamientos 46+780 a 46+860 y que culminó en el cierre temporal de la vía y la necesidad de colocar puentes Bailey para habilitar el paso.

Se debe mencionar que el problema empezó a reflejarse con la formación de una grieta que fue aumentando su dimensión en un lapso de tiempo relativamente corto. Según la entidad supervisora Cacisa – Cano Jiménez, mediante el oficio SSJC-158 de agosto del 2010, esta grieta se detectó el 23 de agosto del mismo año, cuando apenas se observaba a lo largo del espaldón. Posteriormente se fue extendiendo hacia la calzada, aumentando su espesor. La empresa concesionaria decidió en ese momento sellarla con emulsión asfáltica. Sin embargo, para el 31 de agosto (una semana después) la grieta siguió aumentando su espesor e incluso empezó a formarse una diferencia de nivel, lo cual era perceptible al paso de vehículos y se intensificaba día a día.

En la Fotografía 1 se puede observar la grieta que empezó a reflejar el deslizamiento que se estaba presentando en el sitio.



Fotografía 1. Formación de grieta en la carretera en el kilómetro 46+800.
31 de Agosto, 2010. **Fuente:** Supervisora CACISA-Cano Jiménez

En las fotografías 2 a 3 se puede observar que la empresa concesionaria decidió sellar la grieta inicial; sin embargo, la grieta se extendió por la calzada.



Fotografías 2 y 3. Sellado de la grieta en el kilómetro 46+800. Nótese la extensión a lo largo de la calzada. 31 de Agosto, 2010. **Fuente:** Supervisora CACISA-Cano Jiménez

Luego de sellada, se pudo observar que la grieta siguió reflejándose, lo que indicaba que existía un movimiento constante de la masa de suelo subyacente en este punto. La Fotografía 4 muestra la abertura de la grieta luego de sellada, aproximadamente dos semanas después.



Fotografía 4. Grieta continúa formándose luego de sellada, kilómetro 46+800. 7 de Setiembre, 2010. **Fuente:** Supervisora CACISA-Cano Jiménez

El 2 de setiembre del 2010, la consultora INGEOTEC realiza una visita al sitio en compañía de representantes de la Constructora San José – Caldera y de acuerdo al informe generado de esta visita, la entidad Supervisora recomendó realizar un estudio geotécnico de lo que ellos mencionan es un relleno, para determinar las causas del agrietamiento. Además se recomienda que se revisen las condiciones hidráulicas del sitio, que se valore la posibilidad de condenar la alcantarilla existente y que se establezca un puesto de control que permita vigilar y cerrar la vía en condiciones peligrosas o falla del relleno.

Mediante oficio No.SSJC-015-SEP-2010 del 3 de setiembre la entidad supervisora hace referencia a la separación que existió entre los tubos de concreto de la alcantarilla que atraviesa la vía en el estacionamiento 46+796. Es un hecho que el agua que sale por esas aberturas, podría poner en riesgo la estabilidad de la masa de suelo ubicada en la sección de relleno. El sellado de estas aberturas fue recomendado inmediatamente por la Empresa Constructora y la consultora contratada por la Administración. Además se recomendó, como se menciona en el párrafo anterior, el cierre temporal o definitivo de esta alcantarilla con el fin de no aumentar el riesgo en este punto.

Para el día 10 de setiembre, las condiciones de agrietamiento seguían presentándose constantemente a pesar de que se habían realizado sellados de las grietas de importante magnitud, como se puede apreciar en la siguiente fotografía. Según oficio SSJC-060-SEP-2010 de este mismo día se menciona un desplazamiento horizontal hasta de 16 cm y una grada vertical hasta de 8 cm y que el carril en sentido Caldera a San José se cerró para evitar el tránsito en la zona fallada.



Fotografía 5. Grieta continua formándose luego de inclusión de lechada, kilómetro 46+800. 10 de Setiembre, 2010. **Fuente:** Supervisora CACISA-Cano Jiménez

Posteriormente, el día 11 de setiembre, se colocó mezcla asfáltica encima del agrietamiento. Aunque esto ayudaría a impermeabilizar la superficie de rodamiento, el agrietamiento iba a reflejarse en cualquier momento, además que se le agregaría más peso a la zona en movimiento.



Fotografías 6 y 7. Colocación de mezcla asfáltica sobre la zona en movimiento, kilómetro 46+800. 11 de Setiembre, 2010. **Fuente:** Supervisora CACISA-Cano Jiménez.

En días posteriores se puede notar que el movimiento de la masa de suelo se seguía presentando, lo que se iba manifestando en las deformaciones del guardavía y de las cunetas, además que se seguían reflejando las grietas en la mezcla asfáltica colocada.



Fotografías 8 y 9. Movimiento constante del terreno luego de colocada la mezcla asfáltica, kilómetro 46+800. 14 y 16 de Setiembre respectivamente, 2010. **Fuente:** Supervisora CACISA-Cano Jiménez.

Para el día 19 de setiembre, ya las grietas se iban reflejando rápidamente en la sobrecapa asfáltica colocada y en las cunetas de concreto hidráulico.



Fotografías 10 y 11. Reflejo de grietas en la sobrecapa asfáltica, kilómetro 46+800. 19 y 21 de Setiembre respectivamente, 2010. **Fuente:** Supervisora CACISA-Cano Jiménez.

El movimiento de la masa de terreno se iba acelerando y hasta se iba formando una diferencia de nivel en la grieta, que era perceptible por los vehículos, lo que se muestra en la fotografía siguiente.



Fotografía 12. Formación de grada en la superficie de rodamiento, kilómetro 46+800. 21 de Setiembre 2010. **Fuente:** Supervisora CACISA-Cano Jiménez.

En oficio SSJC-100-SEP-2010 del 21 de setiembre se menciona por parte de la entidad supervisora que la deformación ya alcanzaba los 12 cm y que se estimaba una velocidad promedio de desplazamiento de 1 centímetro por día.

Para el día siguiente, o sea 22 de setiembre, ya se podía apreciar un deterioro avanzado y un movimiento acelerado del terreno como se aprecia en las siguientes fotografías.



Fotografías 13 y 14. Deterioro acelerado de la superficie, kilómetro 46+800. 22 de Setiembre 2010

Fuente: Supervisora CACISA-Cano Jiménez.

Mediante oficio No.SSJC-113-SEP-2010 del 22 de setiembre la Supervisora menciona que de acuerdo al informe realizado por INGEOTEC que “el relleno muestra evidencias de que se encuentra en condiciones límites de estabilidad. No puede descartarse por lo tanto que en cualquier momento pueda ocurrir una falla súbita que ponga en riesgo la seguridad de los usuarios de la vía. Se recomienda por lo tanto al Concesionario valorar la posibilidad de que por el riesgo que conlleva se cierre la vía hasta tanto no se determine las causas del problema y su solución...”

Se intentó sellar las grietas con inyección de lechada de concreto hidráulico, el mismo día que se presentó el deterioro mostrado en las fotografías anteriores.



Fotografías 15 y 16. Inyección de lechada de concreto hidráulico, kilómetro 46+800. 22 de Setiembre 2010. **Fuente:** Supervisora CACISA-Cano Jiménez.



Fotografías 17 y 18. Inyección de lechada de concreto hidráulico, kilómetro 46+800.
22 de Setiembre 2010. **Fuente:** Supervisora CACISA-Cano Jiménez.

En el talud del material colocado en la sección de relleno, se notaba el movimiento del terreno reflejado por la aparición de agrietamientos varios lo que evidenciaba aún más la magnitud del desplazamiento y del volumen de suelo que se estaba moviendo.



Fotografía 19. Agrietamiento en el talud de relleno., kilómetro 46+800.
22 de Setiembre 2010. **Fuente:** Supervisora CACISA-Cano Jiménez.

Evidenciando cada vez más la rapidez con que se estaba desplazando el terreno, justamente un día después, 23 de setiembre se presenta un desplazamiento severo que formó una grada de gran magnitud que impedía el tránsito de vehículos. En el oficio SSJC-118-09-2010 del mismo día, la

entidad supervisora menciona que se observa un incremento en el movimiento de la grieta y que se detectó una velocidad de 1cm cada 2 horas. Se advirtió de la urgencia de las obras de estabilización definitiva.



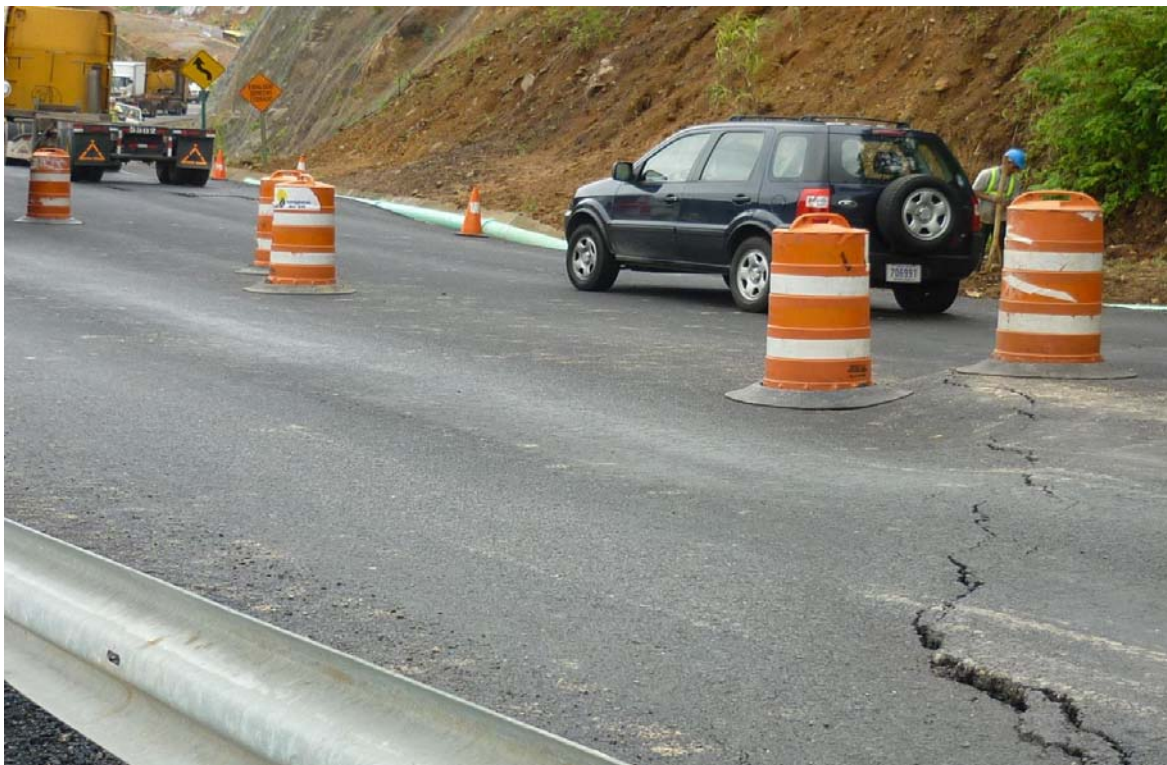
Fotografía 20. Desplazamiento severo un día después de la inyección de lechada en las grietas, kilómetro 46+800. 23 de Setiembre 2010. **Fuente:** Supervisora CACISA-Cano Jiménez.

Nótese en la fotografía que inmediatamente se aplicó emulsión asfáltica para colocar una sobrecapa en el sitio y poder dar transitabilidad a la vía.



Fotografías 21 y 22. Colocación de sobrecapa luego del desplazamiento severo, kilómetro 46+800. 23 de Setiembre 2010. **Fuente:** Supervisora CACISA-Cano Jiménez.

Posteriormente, el día 24 de setiembre se sigue presentando el movimiento constante que se evidencia con el permanente agrietamiento de las sobrecapas de mezcla asfáltica sucesivas que se van colocando.



Fotografía 23. Agrietamiento continuo de las sobrecapas colocadas, kilómetro 46+800. 24 de Setiembre 2010. **Fuente:** Supervisora CACISA-Cano Jiménez.

Ese mismo día se continuó colocando mezcla asfáltica para tapar las grietas que se iban formando.



Fotografías 24 y 25. Nuevamente colocación de mezcla asfáltica sobre las grietas que se seguían presentando, kilómetro 46+800. 24 de Setiembre 2010. **Fuente:** Supervisora CACISA-Cano Jiménez.

Es importante mencionar que las constantes intervenciones de colocado de mezcla asfáltica se hacen inmediatamente que se presentan los deterioros severos, sin embargo, a pesar de que se rehabilita la vía rápidamente, se considera riesgoso el paso de tránsito, principalmente por la rapidez con la que se van formando las grietas.



Fotografía 26. Rehabilitación del paso de vehículos luego de la nueva sobrecapa colocada, kilómetro 46+800. 24 de Setiembre 2010. **Fuente:** Supervisora CACISA-Cano Jiménez.

Esto se evidenciaba cada día que pasaba y se lograba observar que el peso de toda la mezcla asfáltica que se colocaba inducía a un hundimiento casi inmediato, como se puede observar nuevamente al día siguiente.



Fotografía 27. Nuevo desplazamiento luego de la colocación de la nueva sobrecapa, kilómetro 46+800. 25 de Setiembre 2010. **Fuente:** Supervisora CACISA-Cano Jiménez.

Las diferencias de nivel nuevamente fueron salvadas nivelando con mezcla asfáltica el mismo día 25 de setiembre, generando aún más peso al sitio.



Fotografías 28 y 29. Nueva sobrecapa de mezcla asfáltica, kilómetro 46+800. 25 de Setiembre 2010. **Fuente:** Supervisora CACISA-Cano Jiménez.

Por medio de la altura del guardavía se puede notar la dimensión del espesor de mezcla asfáltica que se colocó hasta ese momento. Nótese en la siguiente fotografía que la base de los postes del guardavía originalmente estaba a nivel de superficie de rodamiento.



Fotografía 30. Espesor de la sobrecapa de mezcla asfáltica colocada hasta este momento, kilómetro 46+800. 25 de Setiembre 2010. **Fuente:** Supervisora CACISA-Cano Jiménez.

En oficio No. SSJC-125-SEP-2010 del 26 de setiembre, la entidad supervisora menciona que la Concesionaria cuestiona el informe realizado por INGEOTEC respecto al deslizamiento. Respecto al cierre de la vía el Concesionario afirma que no lo considera necesario y que solo tomará esa decisión cuando sus expertos lo indiquen.

Nuevamente el 29 de setiembre se evidencia un asentamiento importante que afecta el paso regular del tránsito.



Fotografías 31 y 32. Nuevo desplazamiento del terreno, kilómetro 46+800. 29 de Setiembre 2010. **Fuente:** Supervisora CACISA-Cano Jiménez

Este asentamiento se niveló de nuevo con mezcla asfáltica el mismo día que ocurrió. Debido a la emergencia, se colocó hasta con lluvia presente, práctica que se considera incorrecta.



Fotografías 33, 34, 35 y 36. Nueva colocación de mezcla asfáltica. Este día se colocó con lluvia, kilómetro 46+800. 29 de Setiembre 2010. **Fuente:** Supervisora CACISA-Cano Jiménez.

Al día siguiente se presenta un asentamiento mayor, lo que obligó a cerrar definitivamente el paso de vehículos por la zona.



Fotografías 37 y 38. Desplazamiento presentado antes del cierre definitivo de la vía., kilómetro 46+800. 30 de Setiembre 2010. **Fuente:** Supervisora CACISA-Cano Jiménez.



Mediante nota emitida el 4 de octubre del 2010, por parte de la empresa Concesionaria, se le indica al Consejo Nacional de Concesiones que el comportamiento del deslizamiento presentado en el estacionamiento 46+800, cambió desde el 29 de setiembre por fuertes flujos de agua que debilitaron el terreno natural debajo de la cimentación del material ubicado en la sección de relleno de del tramo, lo que la empresa Concesionaria cataloga como evento de Fuerza Mayor. Debe tenerse claro que un evento de fuerza mayor es aquel que no se puede prever.

8.2. Anexo 2. “Sección 203 Excavación y Terraplenado” del manual “Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes CR-77”

203.01

Sección 203

EXCAVACION Y TERRAPLENADO

DESCRIPCION

203.01 GENERALIDADES: Este trabajo consistirá en la excavación, remoción y evacuación o compactación de todo material cuya remoción no se esté efectuando y pagando bajo alguna otra partida o renglón de pago, que se encuentre dentro de los límites de la obra y que sea necesario para la construcción del camino de acuerdo con las especificaciones y razonablemente ajustado a los alineamientos, rasantes, espesores, secciones típicas, etc., mostrados en los planos o fijados por el ingeniero.

Toda excavación mayor será clasificada como “excavación común”, “excavación en roca”, “excavación no clasificada”, “excavación en fangos o escombros”, “excavación en derrumbes”, “excavación de zanjas o canales”, o “excavación de préstamo”, según se describe más adelante.

Todo material adecuado que se saque de una excavación, deberá ser utilizado, hasta donde sea factible, en la construcción de terraplenes, subrasantes, espaldones, taludes, asiento y relleno para estructuras, así como para otros fines que se muestren en los planos o sean ordenados por el ingeniero.

203.02 EXCAVACION EN ROCA: La excavación en roca consistirá en toda aquella excavación hecha en materiales de procedencia ígnea metamórfica o sedimentaria que no pueda excavar sin hacer uso de explosivos o desgarradores (picos o rippers) y todas las piedras pedruscos que tengan un volumen de 0.5 metros cúbicos o más, según comprobación hecha por el ingeniero, mediante mediciones físicas o simple inspección visual.

203.03 EXCAVACION COMUN: La excavación común consistirá en toda aquella excavación que no esté incluida como excavación en roca, ni excavación alguna que esté clasificada de otro modo y así sea pagada.

203.04 EXCAVACION NO CLASIFICADA: Si en el Cartel de Licitación no aparece especificada una cantidad determinada para excavación en roca o excavación común o de cualquier otro tipo, todos los trabajos de excavación comprendidos en esta sección se considerará excavación no clasificada, sin tomar en cuenta la cantidad ni calidad de los materiales que sean encontrados durante el proceso del trabajo.

203.05 EXCAVACION EN FANGO O ESCOMBROS: Esta clase de excavación consistirá en la remoción y evacuación de mezclas de tierra y materia orgánica, saturadas o no, que no sean adecuadas para ser usadas en rellenos o terraplenes, y que se eliminan por el estado de humedad en que se encuentran.

203.06

203.06 EXCAVACION EN DERRUMBES: El trabajo consistirá en la eliminación de materiales adecuados o no, provenientes de desprendimientos en los taludes de excavación y que no fueron previstos en el diseño del camino.

203.07 EXCAVACION DE ZANJAS O CANALES: En este trabajo se cataloga toda excavación de zanjas o canales de desagüe que no pudiera ejecutarse con el equipo convencional de movimiento de tierra y que exija el uso de equipo especial o su construcción a mano.

203.08 EXCAVACION DE PRESTAMO: El préstamo consistirá de material aprobado necesario para la construcción de terraplenes, rellenos u otras partes de la obra, que deberá ser obtenido de fuentes aprobadas por el Ingeniero y clasificadas como sigue:

- a) Préstamo Caso 1: El préstamo Caso 1, consistirá en material obtenido de la excavación de fuentes indicadas en los planos, en las Especificaciones Especiales o marcadas por el Ingeniero.*
- b) Préstamo Caso 2: El préstamo Caso 2 consistirá en la excavación de fuentes elegidas por el Contratista y aprobadas por el Ingeniero y de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 106.02 b), y deberá tener un C.B.R. igual o mayor al utilizado en el diseño del pavimento.*
- c) Préstamo seleccionado para acabado : Cuando así se indique en los planos y en el Cartel de Licitación, las partes superiores del firme u obra básica del camino, tanto en los cortes como en los terraplenes, se construirán en capas de material de Préstamo Seleccionado, para acabado proveniente de fuentes de préstamo Caso 1 o Caso 2, el material para dicho acabado deberá tener una graduación tal, que todas sus partículas pasen por una criba con agujeros cuadrados de 7.62 cm (3") y un índice de soporte (CBR) según la prueba AASHO T-193, igual o mayor de 10 por ciento, a una compactación del 95 por ciento de la prueba AASHO T-99 y que todo el material que pase la malla No. 40 tenga un límite líquido no mayor de 30 y un índice plástico no mayor de 7.*
- d) General: El Contratista deberá notificar al Ingeniero, con suficiente anticipación, la apertura de cualesquiera Zona de Préstamo, con el objeto de que pueda ordenar la medición y acotamiento del área mediante la obtención de secciones transversales después de efectuada la limpieza o el destape, además de que pueda ser muestreado el material para su análisis y aprobación antes de usarlo. Por tanto, el aviso debe ser anticipado para contar con tiempo suficiente para efectuar el muestreo y pruebas necesarias para la aprobación del material de préstamo.*

REQUISITOS PARA LA CONSTRUCCION

203.09 GENERALIDADES: La excavación y los terraplenes para el camino, intersecciones y accesos, deberán quedar terminados con superficies suficientemente lisas y

203.09

uniformes. No deberán desecharse materiales sin la autorización del ingeniero. Las operaciones de excavación deberán ser efectuadas de manera que el material que está fuera del límite de los taludes no llegue a ser alterado de su condición natural. Antes de iniciar las operaciones de excavación, nivelación y terraplenado en cualquier zona, deberá haberse terminado toda la labor de chapia y desenraice necesario de acuerdo con la sección 201.

Salvo que específicamente se indique lo contrario, en los planos, o Especificaciones Especiales, el material que sea clasificado como roca, deberá ser escavado hasta una profundidad mínima de 15 cms abajo de los límites del firme, sea por debajo de la subrasante y dicha excavación será rellena con material adecuado indicado en los planos o aprobados por el ingeniero. Se deberá tener especial cuidado de no dejar bolsas o depresiones en la superficie de la roca que puedan quedar sin drenar.

Quando esté previsto en el contrato que debe usarse el método de resquebrado previo del material o que el Contratista quiera hacer uso de este método antes de comenzar las operaciones de perforación deberá proporcionar al ingeniero, un plan en que se indique la posición de los huecos barrenados, con respecto al camino mismo, relacionando estacionamiento, rasantes, taludes, etc., profundidad de las perforaciones, tipo de explosivos que se pretende usar, disposición de las cargas y secuencia de explosión de dichas cargas.

El plan de perforación y secuencia de explosión, se requiere para propósito de registro en archivo pero su recibo, por parte del ingeniero no liberará al Contratista de la responsabilidad en cuanto al uso de procedimientos apropiados de barrenado y secuencia de explosión. Los huecos barrenados pueden tener un diámetro entre 63 mm y 76 mm y podrán espaciarse aproximadamente entre 50 y 90 cm, dependiendo de la clase de material que se encuentre en el sitio de trabajo. La profundidad máxima de perforación podrá ser de 7.50 metros más la mitad de la distancia usada entre perforaciones. Las operaciones de resquebrado previo deberán completarse con anterioridad a cualesquier otra explosión dentro de un radio de 15 metros dentro de cuyos límites se haya completado esta operación o bien en cualquier otra forma aprobada por el ingeniero. El explosivo deberá contener un 40 por ciento de dinamita extrapotente u otro tipo de explosivo aprobado, que pueda producir resultados igualmente satisfactorios. Los explosivos a base de nitrato de amonio podrán usarse solamente si se cuenta con el permiso escrito del ingeniero. La magnitud y espaciamiento de las cargas individuales podrán ser variadas para ajustarse a las condiciones del subsuelo, encontradas durante la construcción.

Todas las perforaciones para la voladura inicial deberán barrenarse a una distancia no menor de 90 cm de la parte o cara de resquebrado previo o a mayor distancia, si fuere necesario, para evitar excesiva fractura por voladura.

Salvo que específicamente se indique lo contrario en los planos o Especificaciones Especiales el costo por los trabajos de resquebrado previo, será considerado como inherentes y subsidiario de los trabajos de excavación del camino, por lo que no habrá pago directo o por esta labor.

203.09

Cuando en los planos se indique que la parte superior del firme del camino se debe mejorar con material de préstamo seleccionado para acabado, deberá excavar-se todo el material inadecuado hasta la profundidad necesaria para colocar la capa de material selecto, del espesor compactado que se haya especificado.

No podrá colocarse material de préstamo en un relleno, hasta que se haya usado en el mismo, todo el material adecuado y realmente accesible proveniente de la excavación del prisma del camino, salvo cuando sea permitido u ordenado por el ingeniero.

Si el Contratista usara más material de préstamo del realmente necesario y por esa causa existiera un desperdicio de material adecuado proveniente de la excavación del prisma del camino, la cantidad del mencionado desperdicio será calculada y deducida de la cantidad de préstamo que por mediciones, se calcule haberse extraído y usado razonablemente de la zona de préstamo.

Todas las zonas de préstamo serán emparejadas con la cuchilla de la explanadora (tractor) y dejadas en un estado tal, que permita hacer las medidas necesarias y correctas después de terminada la excavación. El Contratista no podrá excavar a una elevación menor de la establecida y tampoco deberá ejecutar ninguna excavación antes de que se tomen secciones transversales del sitio y se hayan colocado las estacas respectivamente. La superficie de áreas de Préstamo una vez terminada la excavación deberán ser muy aproximadas, a las líneas y gradientes especificadas y establecidas, según se indica en el artículo 106.02 (c). Cuando la explotación de un Préstamo obligue a remover cercas, éstas deberán ser reconstruidas, por lo menos en las mismas condiciones en que se encontraban originalmente.

Cuando el Contratista remueve una cerca, él será responsable por el encierro del ganado que pudiera quedar afectado al ser removida.

La destrucción o simple clausura de caminos existentes, se efectuará de acuerdo con la sección 209. La remoción de pavimentos rígidos, (de cemento portland), y capas de base granular, será ejecutada y pagada según lo establecido en la sección 202.

Dentro del término "canales" se incluirá, cunetas laterales, cambios de canal, zanjas para irrigación, cunetones, canales de entrada y salida de alcantarillas, contra-cunetas y cualquier otro canal que pueda estar señalado en los planos o ser marcado por el ingeniero.

Todo el material proveniente de la excavación de canales será usado o removido de acuerdo a lo estipulado en esta sección.

Todos los canales deberán ajustarse al alineamiento, gradiente y sección transversal indicadas en los planos, sin que sobresalgan raíces, tocones, rocas o deformaciones similares. El Contratista deberá mantener y conservar en servicio todos los canales hechos por él libres de hojas, palos y despojos, similares arrastrados, hasta la aceptación final de la obra.

203.09

Las contra-cunetas podrán construirse abriendo, con un arado, un surco continuo siguiendo la línea estaquillada por el ingeniero, el Contratista podrá utilizar otro método u otro equipo. Las contra-cunetas, deberán limpiarse con palas de mano, zanjeadoras o cualesquier otro método adecuado, colocando el material resultante del lado del talud o sea en la parte baja de la ladera, de manera que el fondo de la zanja quede 50 cm más baja que la parte alta del lomillo de material suelto colocado en la forma antes indicada. No será requerido un acabado a mano, pero la gradiente deberá ser tal que garantice el libre flujo de las aguas, sin peligro de derrames hacia los taludes.

Durante la construcción del camino o carretera, la explanación deberá mantenerse en una condición tal, que asegure un buen drenaje en todo momento, las cunetas que se construyan en un corte y prosigan en un terraplen o a la inversa, se acondicionarán de tal manera que en ningún momento puedan ocasionar daños por erosión.

Si así se indica en los planos o establece en las Especificaciones Especiales, el material vegetal encontrado en los sitios de excavación o en aquellos otros sobre los cuales deba colocarse un terraplén, deberá ser removido en toda la extensión del área y profundidad ordenadas directamente por el ingeniero. En todo caso la remoción de esta clase de material deberá hacerse hasta una profundidad mínima de 20 cms. El material removido, según lo ordene el ingeniero, será transportado y apilado en los sitios escogidos por él.

Antes de comenzar los trabajos normales de excavación o terraplenado, debe haberse completado la labor de remoción del material vegetal, el cual debe ser mantenido aparte de otros materiales excavados si así lo ha ordenado el ingeniero.

Quando la excavación haya sido completada de acuerdo a la sección típica y resultara la subrasante o taludes en todo o en parte, formados con materiales inadecuados, el ingeniero podrá ordenar al Contratista la remoción de dichos materiales inadecuados reponiendo o rellenando la parte removida con materiales aprobados. El Contratista deberá ejercitar estos trabajos de manera tal que permita al ingeniero tomar las secciones transversales o mediciones del caso, antes de ejecutar el relleno.

El ingeniero designará como materiales inadecuados todos aquellos suelos que no puedan ser debidamente compactados en los terraplenes o subrasante, usando los sistemas y equipos establecidos y diseñados para tal efecto. Estos materiales deberán eliminarse de acuerdo a las órdenes dadas por el ingeniero.

Quando en los planos se señalen los sitios con materiales inadecuados su remoción deberá efectuarse al igual que su reposición de acuerdo a como se establezca en ellos.

Quando en un trabajo de excavación y terraplenado se necesite manipular varias veces el material antes de su colocación completa y final, cada manipuleo, que se ordene por el ingeniero, será pagado contra el renglón de pago correspondiente, al precio unitario del contrato.

203.10 CONSTRUCCION DE TERRAPLENES: El trabajo consiste en la construcción de terraplenes, incluyendo la preparación de las zonas sobre las que aquellos serán construídos, la construcción de diques dentro o adyacentes a la zona del camino, la colocación y compactación de materiales aprobados en las áreas del camino en donde han sido removidos materiales inadecuados, la colocación y compactación de materiales aprobados, en fosas, tajos y depresiones en la zona del camino.

En la construcción de terraplenes y relleno deberán emplearse solamente materiales que hayan sido aprobados, no pudiéndose usar en ellos, materiales provenientes de escombros o que contengan raíces.

203.11 METODO DE CONSTRUCCION: En aquellos terraplenes en los que deban hincarse pilotes, no deben colocarse o usarse rocas, pedazos de hormigón u otros materiales duros y voluminosos.

Cuando los terraplenes deban colocarse o compactarse en los costados de una ladera o de otro terraplén existente, o cuando el terraplén deba construirse en partes a lo largo del mismo, y los taludes existentes o que se establezcan, quedan más escarpados de 2 a 1, cuando se midan a ángulo recto con el eje del camino, debe ser banqueados (escalonados) a todo lo largo, conforme lo requiera el avance en capas del terraplén. El ancho del banqueo quedará sujeto a la aprobación del ingeniero y deberá ser o tener el ancho suficiente para permitir la colocación y compactación del material con el equipo corriente y convencional. Cada corte horizontal o banqueo comenzará en la intersección del terreno natural con el talud vertical del corte o banqueo anterior. El material así excavado, será compactado a todo lo largo, junto con el material del terraplén hasta completar la sección transversal típica que se indique en los planos.

Cuando se trabaje en la colocación y compactación de material para un terraplén y sea permitida la descarga de material al extremo de la zona de avance del trabajo los declives del terreno original, o taludes del terraplén deberán ser escarificados profundamente antes de comenzar el trabajo.

Salvo que se especifique de otra manera en los planos o especificaciones especiales, cuando se construya un terraplén de una altura menor de 1.50 m entre el terreno natural y la subrasante, deberá removerse todo terreno vegetal del área sobre la cual se colocará el terraplén. La superficie que al efecto se prepare deberá escarificarse hasta una profundidad mínima de 15 cm. con la salvedad establecida en el artículo 201.03. Esta área será entonces compactada como se prevee en el artículo 203.12.

El vegetal que no se obligue remover, deberá ser desmenuzado con rastras de discos o escarificado antes de comenzar la construcción del terraplén.

Cuando un terraplén se construya sobre un camino existente ya consolidado y tenga una altura menor de 1.0 m hasta la subrasante, toda la superficie del camino existente deberá ser escarificada hasta una profundidad no menor de 15 cm cuando así lo ordene el ingeniero. El material escarificado deberá compactarse como está indicado en el artículo 203.12.

203.11

Caso de que el terraplén deba ser colocado solamente en un lado de bastiones, pilares, aletones o cabezales de alcantarillas, se deberá tener cuidado de que en las áreas adyacentes a esas estructuras se trabaje en forma tal que no signifique peligro de volcamiento de dichas estructuras o sobreposición sobre o en contra de ellas. Cuando así se haya anotado en los planos, el relleno adyacente a los finales o remates de un puente no será colocado más alto que la parte posterior de la pantalla (pared de amarre) del bastión, hasta tanto no sea construida la superestructura. Cuando se construya un terraplén a ambos lados de una pared de hormigón, una estructura en forma de caja (sección transversal cuadrangular o rectangular) o similar, las operaciones de terraplenado deberán dirigirse de manera tal, que siempre exista aproximadamente la misma altura en ambos lados de la estructura.

Salvo que se disponga otra cosa en las Especificaciones Especiales, las áreas de excavación, normales o en tajos, pueden ser humedecidas antes de iniciar las operaciones de excavación. Cuando se use este procedimiento, las áreas de excavación deberán ser humedecidas en su profundidad total, desde la superficie hasta la parte inferior de la excavación. La cantidad de agua a usar, debe ser controlada para que el material a excavar adquiera la humedad requerida para permitir una compactación adecuada de acuerdo a lo solicitado en las Especificaciones y el equipo de compactación usado. De todas formas deberá contarse con camiones cisterna con equipo de riego y rastras de discos, para asegurarse que en el sitio de construcción del terraplén el material tenga la humedad apropiada en el momento de ejecutar el trabajo de compactación. El Contratista deberá proveer un equipo de sondeo capaz de permitir el control y verificación del contenido de humedad en toda la profundidad de la excavación.

Todos aquellos excesos de material excavado, al igual que los materiales inadecuados incluyendo rocas o bolones, que no puedan usarse en el terraplenado, deberán ser eliminados de acuerdo a las instrucciones que se emitan al respecto.

Los terraplenes para caminos, construidos con suelos deberán trabajarse colocando capas sucesivas horizontales de un espesor, medidas sueltas, que no sobrepase de 25 cms y en los últimos 60 cms para llegar a nivel de subrasante que no sobrepasen de 15 cms, medidas sueltas, de manera que nunca se coloque la capa siguiente hasta tanto la anterior no haya sido compactada de acuerdo a especificaciones. Antes de compactar cada capa, debe asegurarse que ella tiene un espesor parejo, para lo cual debe usarse un equipo esparcidor eficiente. Para asegurar una densidad uniforme en cada capa, debe manipularse continuamente y nivelarse el material suelto mientras dure el proceso de compactación, y para conseguir la densidad requerida debe adicionarse o eliminarse agua. La eliminación de agua puede conseguirse mediante aereación por medio de escarificación con equipo de picos o discos, revolcando con cuchilla o cualesquiera otro método aceptado por el ingeniero. El equipo de acarreo del material para la construcción de la capa, debe circular por toda la superficie de la misma, para evitar la formación de surcos o la compactación irregular.

Cuando el terraplén deba construirse sobre un terreno bajo y pantanoso que no soporte el peso de los camiones o cualesquier otro equipo de acarreo, la parte baja del terraplén podrá construirse por simple descarga de material en una capa uniformemente

203.11

distribuida, de un espesor apenas lo suficiente para soportar las cargas originadas por el equipo de acarreo, sobre esta "capa soporte" se levantará el terraplén de acuerdo a lo especificado anteriormente.

Aquellos materiales que contengan más de un 25 por ciento de piedras o pedazos de roca, de más de 15 cms en su mayor dimensión, deberán ser colocados en capas de suficiente espesor para contener el pedazo de roca o piedra de mayor tamaño, no obstante en ningún caso el espesor de la capa, antes de comenzar la compactación, será de más de 60 cms.

Aún cuando el espesor de las capas haya sido limitado a 60 cms se permitirá la colocación de pedazos de roca y bolones mayores de 60 cms en su dimensión mayor, siempre y cuando ésta no exceda de 120 cms y deberá tenerse especial cuidado para que el material fino adyacente quede tan bien distribuido que llene todos los intersticios formando una masa densa y bien compactada. Sin embargo, dentro de los 10 cms inmediatos bajo la subrasante no se permitirá la colocación o uso de materiales que contengan piedras que sean retenidas en una criba con aberturas cuadradas de 75 mm de lado.

203.12 CONSTRUCCION DE TERRAPLENES Y TRATAMIENTO DE AREAS DE EXCAVACION MEDIANTE EL SISTEMA DE CONTROL DE HUMEDAD Y DENSIDAD: Salvo que se establezca en los planos o Especificaciones Especiales que el riego y compactación a rodillo no sean necesarios, todos los terraplenes serán compactados de acuerdo a las siguientes disposiciones. En todas las secciones de excavación y en el ancho completo de explanación, dentro de las áreas indicadas en los planos y hasta la profundidad indicada en ellos u ordenada por el ingeniero por debajo de la subrasante, se deberá remover la tierra excavada, excepto el de la última capa de 15 cms. Esta capa deberá ser totalmente escarificada, aumentando o disminuyendo el contenido de humedad para conseguir el óptimo que permita la compactación máxima. Esta capa será compactada hasta una densidad no menor de la que se indica luego. En estas condiciones, el espesor que faltare para completar la elevación de subrasante deberá construirse con materiales adecuados, que cumplan con lo establecido en el artículo 203.11 y compactado hasta una densidad no menor de las que se especifica a continuación.

El Contratista deberá compactar todo el material colocado en las capas de terraplenes, al igual que el material escarificado hasta la profundidad señalada bajo la subrasante en las secciones de excavación hasta una densidad uniforme no menor del 95 por ciento del máximo determinado por AASHO T 99 método C, a un contenido de humedad que el ingeniero considere adecuado para esta densidad.

En cada obra o proyecto el ingeniero podrá obtener, un parámetro comparativo (familia de las curvas) para efectos de calcular el porcentaje de compacidad requerido. Este parámetro se obtendrá del conjunto de relaciones agrupadas humedad densidad (AASHO T-99) de todos los suelos pertenecientes y utilizados en la obra.

El ingeniero durante el proceso y progreso de la obra podrá hacer pruebas de control de compacidad en sitio de acuerdo a los ensayos AASHO T-191, T-204, T-205, T-214,

203.12

T-233 y u otros ensayos en concordancia con las técnicas modernas. Para éstos se pueden efectuar correcciones respecto a partículas gruesas de acuerdo a AASHO T-224. Si el ingeniero, basado en las pruebas anteriores comprueba que no han sido satisfechas las condiciones de humedad y densidad , el Contratista deberá ejecutar los trabajos adicionales necesarios para obtener las condiciones especificadas.

203.13 CONSTRUCCION DE TERRAPLENES SIN EL USO DEL CONTROL DE HUMEDAD Y COMPACIDAD: *Excepto en rellenos hechos con pedazos de roca o bolones y la primera capa de soporte colocada en terrenos pantanosos, todos los materiales usados en un terraplén, serán colocados en capas que no excedan el espesor de 25 cms antes de iniciarse el proceso de compactación.*

En las Especificaciones Especiales, se establecerá el tipo aceptable del equipo de compactación y su forma de aplicación en el campo.

Las áreas de descarga y esparcimiento del material de las respectivas capas deberán mantenerse separadas de aquellas otras en que se labora con el control de compactación y ninguna capa podrá ser cubierta por otra nueva, si la original no ha sido compactada conforme a los requerimientos de esta subsección.

203.14 PRUEBA DEL RODILLO APLANADOR: *Cuando se especifique la prueba del rodillo aplanador, el trabajo de la prueba será hecho de acuerdo con los métodos y equipo mencionados en el contrato.*

203.15 METODOS DE MEDICION:

- a) *Con base a la cantidad mostrada en los planos: Las cantidades de excavación serán medidas de acuerdo con el artículo 109.01. Cuando el ingeniero determine, a solicitud del Contratista según se establece en el artículo o por propia iniciativa, que las cantidades mostradas en los planos, están incorrectas, podrá ordenar una revisión de medidas mediante el método descrito en el párrafo b) siguiente. Cuando las cantidades sean comprobadas para pago, mediante el método de repetición o de medidas, las elevaciones originales del terreno natural serán usadas o consideradas como "secciones transversales originales". Si fuera necesario se proveerán secciones adicionales intermedias, para determinar con mayor exactitud las cantidades buscadas.*
- b) *Con base a cantidades medidas: Cuando se establezca el pago con base a una unidad de volumen para las cantidades realmente excavadas y aceptadas, dentro del prisma de excavación del camino, se harán medidas, secciones transversales, en la condición original del terreno, excepto cuando concurren las condiciones establecidas en el párrafo e)*

203.15

Se deben obtener secciones transversales o medidas similares comparables, del terreno original.

Para el cálculo de volúmenes aplicando el método de las áreas promedio, se deberán tomar o conseguir medidas finales, como sigue:

I Medición por repetición de medidas: Deberán tomarse secciones transversales finales o medidas comparables del área de trabajo terminado y aceptado. La medición deberá incluir la sobre excavación real en la parte posterior de las líneas de talud, pero sin exceder el 10 por ciento de la cantidad de excavación en roca dentro del prisma de excavación localizado dentro de las líneas de talud mostradas en los planos o establecidas, mediante estacas de talud por el ingeniero.

II Medición por medio de las estacas de talud: Las mediciones con estacas de talud, tomadas y dibujadas por el ingeniero para el camino antes de iniciarse la construcción, pueden ser tomadas en lugar de las mediciones finales a condición de que el ingeniero considere que el trabajo ha sido terminado en forma aceptable en conformidad con los acotamientos, establecidos mediante estacas de líneas, niveles y taludes. No habrá concesión alguna por exceso de excavación en roca.

Si el ingeniero determina que la excavación es aceptable pero que no fue hecha de acuerdo a las estacas de línea o talud, puede ordenar mediciones finales de acuerdo con el método establecido en 203.15 b (I)

En este caso, se pagará solamente la parte excavada dentro del prisma de excavación delimitado por las estacas de línea y talud y no se reconocerá pago alguno por el volumen excavado sin autorización fuera del prisma de excavación.

c) Medición por métodos diversos: Podrán aprobarse mediciones para pago de volúmenes de excavación autorizada conforme a los siguientes renglones:

I Excavación del prisma del camino tal como se indicó en 203.15, párrafo b) aparte II

II Rocas y material inadecuado por debajo de la rasante solicitada y material inadecuado debajo de las áreas de colocación de terraplenes.

III Banqueos excavados de acuerdo con el artículo 203.11

IV Canales, excepto aquellos que estén contenidos en el artículo 203.07 cuyo pago estará cubierto por uno o varios renglones de pago

V Terreno vegetal y otros materiales removidos y apilados según ordene el

203.15

ingeniero.

VI *Materiales de Préstamo usados en la obra.*

VII *Materiales provenientes del destape de tajos para Préstamos Caso 1, como se define en el artículo 203.08 a.*

VIII *Rocas sueltas, removidas y colocadas por orden ó con autorización del ingeniero dentro del terraplenado del camino.*

IX *El volumen de materiales tomado de apilamientos ordenados por el ingeniero, y usado en la obra, excepto la tierra vegetal incluida para su pago en el renglón de pago 624 (2).*

X *Material de derrumbes que deba removerse y que su producción no sea atribuible a negligencia del Contratista, según se establece en el artículo 203.06.*

d) *No podrán aprobarse por no estar autorizados, mediciones para pago de volumen de excavación de:*

I *Materiales provenientes del destape de tajos para Préstamo Caso 2, como se define en el artículo 203.08 b.*

II *Material fino de relleno adicional para regular el contenido de humedad y obtener la compactación especificada, salvo que su pago se especifique en las Especificaciones Especiales.*

III *Material usado para otros propósitos diferentes a los ordenados por el ingeniero.*

IV *Materiales provenientes de la escarificación de la subrasante del camino, usados en el mismo lugar mediante mezcla en camino o alguna operación similar.*

e) *Medición mediante el uso de métodos optativos. Cuando resulte impracticable la medida del material por el método de las secciones transversales debido a la irregular o errática localización de depósitos aislados, se pueden usar otros métodos de medición aceptables que envuelvan medidas tridimensionales, incluyendo la medida en los vehículos de acarreo.*

I *Con base en unidades lineales. Cuando se especifique un trabajo de excavación será medido y pagado con base a una medida lineal, la longitud efectiva deberá medirse en tal unidad especificada en el contrato.*

II *Con base en unidades de peso. Puede ser establecido y especificado, que un trabajo de excavación se mida y pague, a base de peso. En este*

203.15

caso se pagará según la unidad y precio unitario establecido en el contrato.

III Con base en la medida del Préstamo: El material de Préstamo será medido y pagado por metros cúbicos.

IV Con base a área de subrasante terminada: El trabajo de estabilización de subrasante mediante algún proceso especial o no especificado, será medido y pagado de acuerdo al número de metros cuadrados realmente tratados, como se indique en las Especificaciones Especiales.

El agua usada para ajustar el contenido de humedad de los materiales no será medida ni pagada directamente, sino que se considerará su precio y costo como incluido en los precios ofrecidos para otros renglones de trabajo y pago del contrato.

BASE DE PAGO

203.16 Las cantidades de excavación aceptadas para pago, determinadas como quedó establecido en el artículo anterior, serán pagadas a los precios unitarios del contrato para los renglones de pago de la lista que se da a continuación y que estuvieren incluidos en Cartel de Licitación. Cuando en ésta no se incluya el renglón de pago para Derrumbes, éstos se pagarán mediante el renglón 109.04, trabajo a costo más porcentaje, o mediante el renglón de pago 203 (5), según sea el criterio del ingeniero.

Los pagos serán hechos de conformidad con:

Renglón de Pago	Unidad de Pago
203 (1) Excavación en roca	Metro cúbico
203 (2) Excavación común	Metro cúbico
203 (3) Excavación No Clasificada	Metro cúbico
203 (4) Excavación en fangos o escombros	Metro cúbico
203 (5) Excavación en derrumbes	Metro cúbico
203 (6) Excavación en canales	Metro cúbico
203 (7) Excavación de Préstamo Caso 1	Metro cúbico
203 (8) Excavación de Préstamo Caso 2	Metro cúbico
203 (9) Excavación de Préstamo Seleccionado para acabado Caso 1	Metro cúbico
203 (10) Excavación de Préstamo Seleccionado para acabado Caso 2	Metro cúbico
203 (11) Nivelación lineal	Kilómetro
203 (12) Subrasante terminada	Metro cuadrado
203 (13) Contracunetas	Metro lineal
203 (14) Otras denominaciones	Establecido en Contrato



Informe elaborado por:

Ing. Diego A. Cordero Carballo
Unidad de Evaluación de la Red Vial
Nacional
Programa de Infraestructura del Transporte
LanammeUCR
Universidad de Costa Rica

Ing. William Vargas Monge, Ph.D.
Coordinador Programa de
Ingeniería Sísmica y Gestión del Riesgo
LanammeUCR
Universidad de Costa Rica

Informe revisado por:

Lic. Miguel Chacón Alvarado
Asesor Legal Externo
LanammeUCR
Universidad de Costa Rica

Informe aprobado por:

Ing. Luis Guillermo Loria Salazar, M.Sc.
Coordinador General
Programa de Infraestructura del Transporte
LanammeUCR
Universidad de Costa Rica