



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Programa de Infraestructura del Transporte

INFORME DE COLABORACIÓN TÉCNICA

LM-PI-UGERVN-009-2013

RUTA NACIONAL No. 606 SECCIÓN GUACIMAL – SANTA ELENA

San José, Costa Rica
Setiembre, 2013



Documento generado con base en el Artículo 6, inciso c) de la Ley 8114 y lo señalado en el Capítulo II, Artículo 14 del Reglamento del Artículo 6 de la precitada ley, publicada mediante Decreto DE-37016-MOPT.

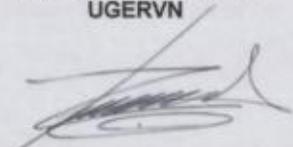
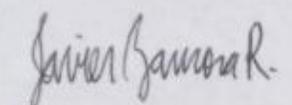
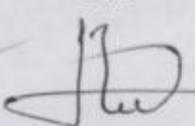
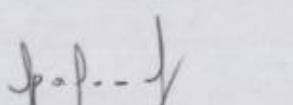
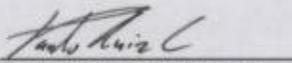
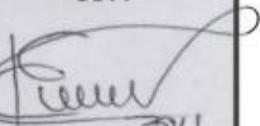
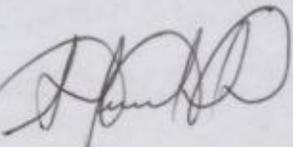
1. Informe LM-PI-UGERVN-009-2013		2. Copia No.1	
3. Título INFORME DE COLABORACIÓN TÉCNICA RUTA NACIONAL No.606, Sección Guacimal – Santa Elena		4. Fecha del Informe Setiembre 2013	
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440			
6. Notas complementarias No aplica			
7. Resumen <i>El Concejo Municipal de Distrito de Monteverde mediante el oficio CMDM-69-06-2013, solicitó una colaboración técnica al Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) del LanammeUCR, relacionada con la revisión del proyecto de mejoramiento de la sección Guacimal – Santa Elena en la Ruta Nacional No.606. Funcionarios del PITRA realizaron un análisis general de las condiciones actuales de esta sección, para ser contrastado con las obras propuestas en la Licitación Pública No.2011LN-0029-0DI00 "Mejoramiento del Sistema de Drenaje y de la Superficie de Ruedo de la Ruta Nacional No.606 Sección Guacimal – Santa Elena". El análisis realizado toma en cuenta las condiciones geológicas, geotécnicas y topográficas de la zona en la cual se ubica el proyecto. Partiendo de los resultados de este análisis, se realizaron una serie de recomendaciones, tendientes a mejorar el nivel de servicio general de la carretera y principalmente la seguridad de los usuarios.</i>			
8. Palabras clave Carretera Monteverde, sección Guacimal – Santa Elena, Ruta Nacional No.606, infraestructura, seguridad vial, geotecnia, geología, topografía		9. Nivel de seguridad: Bajo	10. Núm. de páginas 75
11. Preparado por:			
Ing. Ronald Naranjo U. UGERVN 	Ing. Javier Zamora R., MSc.E. USVT 	Ing. Erick Acosta H. USVT 	Ing. Alonso Ulate C. UGM 
Fecha: 23 / 9 / 2013	Fecha: 24 / 9 / 2013	Fecha: 24 / 9 / 2013	Fecha: 24 / 09 / 2013
Ing. Alexander Cerdas H., MSc. UGM 	Geólogo Paulo Ruiz C., Ph.D. UGERVN 	Ing. Christian Valverde UGERVN 	Téc. Edgar Cubero V. USVT 
Fecha: 24 / 9 / 2013	Fecha: 23 / 9 / 2013	Fecha: 23 / 09 / 2013	Fecha: 24 / 9 / 2013
12. Revisado por:		13. Aprobado por:	
Lic. Miguel Chacón A. Asesor Legal 	Ing. Guillermo Loria S., Ph.D. Coordinador General PITRA 		
Fecha: 24 / 9 / 2013	Fecha: 24 / 9 / 2013		

TABLA DE CONTENIDO

1. POTESTADES	5
2. OBJETIVO DE LA COLABORACIÓN.....	5
3. METODOLOGÍA, ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA COLABORACIÓN.....	5
4. GEOLOGÍA	7
UBICACIÓN.....	7
CONDICIONES TOPOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS.....	8
TOPOGRAFÍA.....	8
GEOMORFOLOGÍA - PENDIENTES	10
GEOLOGÍA DE LA RUTA 606 SECCIÓN GUACIMAL – SANTA ELENA.....	12
TECTÓNICA Y SISMICIDAD.....	14
DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA Y TECTÓNICA DE LOS TRAMOS ELEGIDOS	15
5. CONDICIONES GEOTÉCNICAS.....	18
CORTE Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES.....	18
PROTECCIÓN DE TALUDES.....	27
DRENAJES	28
6. DISEÑO GEOMÉTRICO.....	33
CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO	33
CLASIFICACIÓN FUNCIONAL DE LA RUTA	35
ALINEAMIENTO HORIZONTAL	36
SECCIÓN TRANSVERSAL	40
ALINEAMIENTO VERTICAL	43
LONGITUDES CRÍTICAS EN PENDIENTE.....	44
CURVAS CONVEXAS O CRESTA	45
7. SEGURIDAD VIAL	46
CONSIDERACIONES GENERALES	46
ESPALDONES Y ZONAS DE REFUGIO	47

MÁRGENES DE LA VÍA Y LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN VEHICULAR.....	48
SEÑALIZACIÓN VERTICAL.....	51
DEMARCACIÓN VIAL HORIZONTAL (CASO: CONSTRUCCIÓN TOTAL DE PAVIMENTO).....	52
FACILIDADES PARA PEATONES Y CICLISTAS	53
8. INTERSECCIONES	55
INTERSECCIÓN 6+750	55
INTERSECCIÓN 24+169.....	56
9. TRÁNSITO VEHICULAR.....	58
ESTIMACIONES DE TRÁNSITO.....	58
10. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	59
11. MIRADORES Y PASOS DE FAUNA	62
PASOS DE FAUNA.....	62
MIRADORES	64
12. RECOMENDACIÓN DE INTERVENCIÓN.....	67
13. CONCLUSIONES.....	68
CONCLUSIÓN GENERAL	68
CONCLUSIONES ESPECÍFICAS	69
14. BIBLIOGRAFÍA.....	73
15. LISTA DE ANEXOS	75

1. POTESTADES

El Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, es una dependencia de la Universidad de Costa Rica especializada en la Ingeniería Civil. La ley N°8114 en sus artículos 5 y 6, encomienda al LanammeUCR una serie de funciones en materia de evaluación, fiscalización, asesoría y capacitación, entre otras, para garantizar la máxima eficiencia de la inversión pública en la reconstrucción y conservación de la red vial costarricense.

Considerando la importancia de la Ruta Nacional No.606 en la infraestructura vial de la zona en la cual se localiza, así como la proyección de la zona como destino turístico a nivel mundial, los aportes técnicos derivados del presente informe se enmarcan dentro de las funciones que la citada ley le confiere al LanammeUCR.

2. OBJETIVO DE LA COLABORACIÓN

El objetivo de la colaboración es aportar a la Administración activa del Estado costarricense elementos a considerar en la toma de decisiones y en la ejecución de trabajos en el tramo Guacimal – Santa Elena, en la Ruta Nacional No.606. Específicamente se presentan recomendaciones tendientes a mejorar el nivel de servicio de la carretera y la seguridad de los usuarios.

3. METODOLOGÍA, ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA COLABORACIÓN

Para la elaboración de este informe se realizó una revisión de la documentación disponible del diseño propuesto para esta ruta. El diseño fue realizado por la empresa IMNSA, contratada para tales efectos mediante la Licitación por Registro N°038-2001. Producto de esta licitación IMNSA preparó un Informe Final y 41 láminas con los planos para la construcción de las obras. Tanto el Informe Final como las 41 láminas forman parte de la documentación estudiada.

El estudio comprendió también la revisión del Cartel de Licitación para la construcción de las obras, correspondiente a la Licitación Pública N°2011LN-000029-0DI00 del Consejo Nacional de Vialidad.

Con el fin de realizar el análisis con la información más actualizada y completa posible, mediante el oficio LM-PI-089-2013, con fecha del 26 de junio del presente año, este Laboratorio solicitó al Director Ejecutivo del Consejo Nacional de Vialidad, la información referente al diseño, estudios básicos, informes de ingeniería, planos constructivos, memorias de cálculo, Ordenes de Modificación, etc. de la sección Guacimal – Santa Elena de la Ruta Nacional N°606.

Sin embargo, a la fecha de emisión de este informe no se ha obtenido la información solicitada, ni una respuesta al oficio antes indicado. Por lo tanto, el presente informe ha sido realizado con la información disponible hasta el momento: El Cartel de Licitación para la construcción y el Informe Final del diseño, tal como se indicó anteriormente.

Ingenieros del Programa de Infraestructura del Transporte realizaron una inspección de campo para valorar las condiciones actuales de la ruta. El levantamiento de información incluyó principalmente las condiciones geotécnicas, topográficas y geométricas, las condiciones que afectan la seguridad vial y el manejo del agua de escorrentía a lo largo de la vía.

El proyecto de mejoramiento se está aplicando a una ruta existente, por lo tanto la labor de recolección de datos topográficos se limitó al corredor actual, sin considerar, por lo menos a un nivel más general, analizar otras opciones de trazados que resulten una mejor alternativa en costo-beneficio.

Luego de procesar y analizar los datos obtenidos en el campo, se procedió a contrastar esta información con las obras descritas en los carteles de diseño y construcción antes mencionados.

Producto del análisis de esta información se realizaron una serie de recomendaciones, tendientes a mejorar el nivel de servicio general de la vía, así como la seguridad de los usuarios que la utilizan.

4. GEOLOGÍA

Ubicación

La zona de estudio está ubicada en la parte oriental de la Hoja topográfica 3246-IV Juntas, escala 1: 50 000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Se analiza el tramo de la Ruta 606 entre el sector de Guacimal y Santa Elena. Esta sección atraviesa gran parte de la divisoria que hay entre las cuencas del Río Lagarto y el Río Guacimal, según se aprecia en la figura N°1.

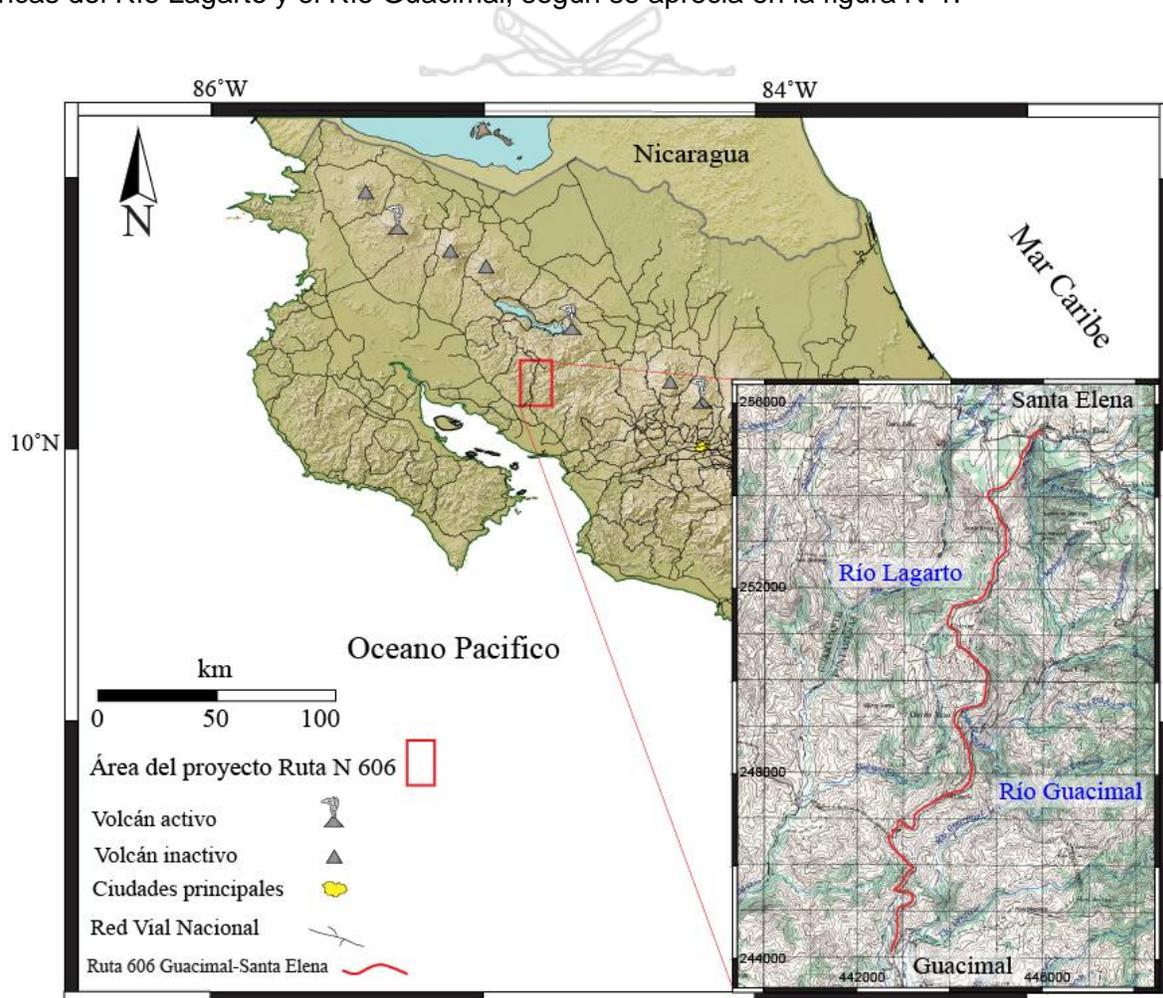


Figura N°1. Mapa de ubicación del proyecto sobre el mapa de Costa Rica con las rutas nacionales y detalle de la ubicación de la Ruta N° 606 entre el sector de Guacimal y Santa Elena.

Condiciones topográficas y geológicas

En esta sección se analizan la topografía, geomorfología - pendientes, geología y estructuras tectónicas, que se encuentran en las cercanías de la Ruta N° 606 y que podrían llegar a influenciar la vulnerabilidad del proyecto.

El objetivo específico de este análisis es ubicar zonas en la ruta donde se deberá prestar mayor atención a fenómenos como deslizamientos, hundimientos, sismos entre otras amenazas. Se presentan diferentes mapas que muestran las principales características de cada uno de los factores analizados.

Se dividió la ruta en 9 tramos (ver figura N°2), que corresponden con la correlación de los cambios en las unidades geológicas del Mapa Geológico (Hoja-Juntas de la Dirección de Geología y Minas-DGM) y la carretera (ver más detalles abajo), manteniéndolos para analizar el resto de los factores mencionados. Los tramos analizados aquí, fueron enumerados en orden consecutivo a partir del cruce de Guacimal y hasta Santa Elena.

Topografía

La sección de la Ruta N° 606 entre Guacimal y Santa Elena, presenta un cambio de elevación que va aproximadamente desde los ~412 m s.n.m. en el cruce de Guacimal hasta casi los ~1 310 m s.n.m. en Santa Elena, según la hoja topográfica Juntas del IGN.

Los tramos con altitud superior a los 1 000 m s.n.m. (T3 a T9), están ubicados más cerca de Monteverde, zona donde la precipitación anual promedio es de 2 000 - 4 000 mm/año (según datos del IMN-2008). Mientras que en las zonas de los tramos (T1 y T2) la precipitación varía entre 1 500 - 2 000 mm/año. Estas diferencias en la cantidad de lluvia son significativas y tienen que ser tomadas en cuenta a la hora de diseñar los sistemas de drenaje de la carretera.

Mediante un modelo de elevación digital (MED) y el trazado de la Ruta N° 606 (ver figura N°2), se puede observar que el trazado original de esta se realizó sobre una fila montañosa que presenta un rumbo promedio casi Norte-Sur, con algunos tramos cortos con rumbos NE-SW, NW-SE y E-W. También se nota que en algunos sectores, la ruta está ubicada exactamente sobre la divisoria de esta fila montañosa, pero en varios tramos se ubica en alguna de las dos vertientes de esta.

Cuando se da este último caso, existen cortes en las laderas originales que dejan expuesta la vía a taludes y terraplenes en sus dos extremos, dejando abierta la posibilidad que en caso de deslizamientos, esta sea afectada por material que se desprende de las laderas y que ocasionen un bloqueo de la vía, o hundimientos que abarquen la estructura soportante. Los tramos de la ruta que se ubican sobre la divisoria también pueden ser afectados por deslizamientos, sin embargo en este caso estos eventos solamente incluirían terreno que soporta la estructura, causando hundimientos y socavamiento de la carretera.

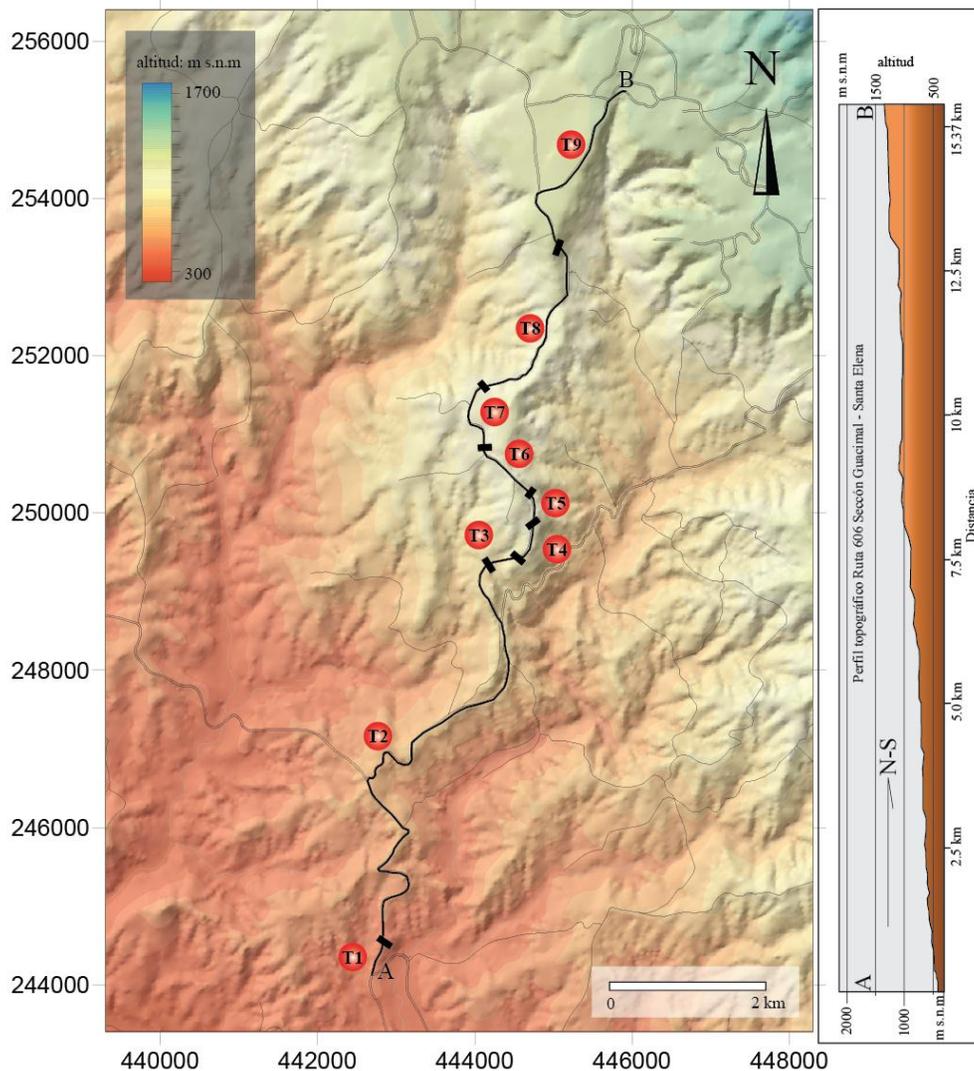


Figura N°2. Modelo de elevación digital (MED) de la zona de estudio y perfil topográfico de la Ruta N° 606.

En la figura anterior se muestra la carretera, dividida en 9 tramos. Hay cambios de altura, desde los ~412 m s.n.m. en el cruce de Guacimal hasta casi los ~1 310 m s.n.m. en Santa Elena. El tramo T9 es uno de los más planos, T8 presenta un cambio de altura importante en una distancia muy corta, mientras que la sección entre los tramos 2 y 7 es donde se da el mayor cambio de altitud pero se distribuye en varios kilómetros.

Geomorfología - Pendientes

Geomorfológicamente el área de estudio en general presenta unidades de tipo denudacionales (producto de la erosión) de origen ígneo, con pendientes altas (35° - 55°), moderadas (16° - 35°) y bajas ($<16^{\circ}$). Su forma actual se debe a la erosión diferencial de rocas ígneas de tipo volcánicas (lavas- andesitas y basaltos) e intrusivas (granitos- Intrusivo Guacimal, riolitas grano medio) que han sido afectadas por meteorización, alteración hidrotermal y fallamiento local.

Las rocas alteradas se han erosionado más rápido que las rocas sanas ayudando a moldear la topografía actual. El patrón de drenaje presente es dendrítico, paralelo y subparalelo.

Las quebradas que atraviesan la ruta en la vertiente Oeste son afluentes del Río Lagarto, mientras que las quebradas que cortan la ruta en la vertiente Este son afluentes del Río Guacimal. Generalmente las zonas más propensas a presentar deslizamientos están constituidas por rocas alteradas y en zonas de pendiente moderada y alta.

Como parte del estudio se construyó un mapa de las pendientes de la zona a partir de las curvas de nivel del mapa Juntas escala 1: 50 000 del IGN (ver figura N°3). El análisis que se realizó con esta información es de tipo preliminar y muestra la situación general de la zona montañosa por la que atraviesa la Ruta N° 606.

Este análisis muestra características muy importantes de la zona, especialmente al comparar las pendientes altas ($>35^{\circ}$) con unidades geológicas alteradas y con la presencia de fallas tectónicas en sus alrededores (ver más adelante). A los taludes ubicados en estos sitios, se les deberá de poner mayor atención en estudios más detallados en el futuro y durante la construcción de la obra.

En general, el trazado actual de la ruta (entre Guacimal y Santa Elena) está construido sobre una divisoria con pendientes entre 0° y 16° cuando, solamente en sectores muy puntuales esta sobre terrenos con pendientes con ángulos entre 16° - 35° y casi en ningún sitio con pendientes de 35° -

55°. Sin embargo, como la ruta está construida sobre esta divisoria o en alguna de sus vertientes, la gran mayoría de las laderas y de los taludes inferiores y/o superiores presentan ángulos entre 16° y 35°, algunos sectores llegan a tener pendientes entre 35° y 55° y sitios puntuales presentan pendientes mayores a 55°.

Son estos últimos sectores los que en caso de requerir movimiento de tierras podrían generar problemas en la ruta, causando deslizamientos que bloqueen el paso o hundimientos que comprometan la estructura soportante.

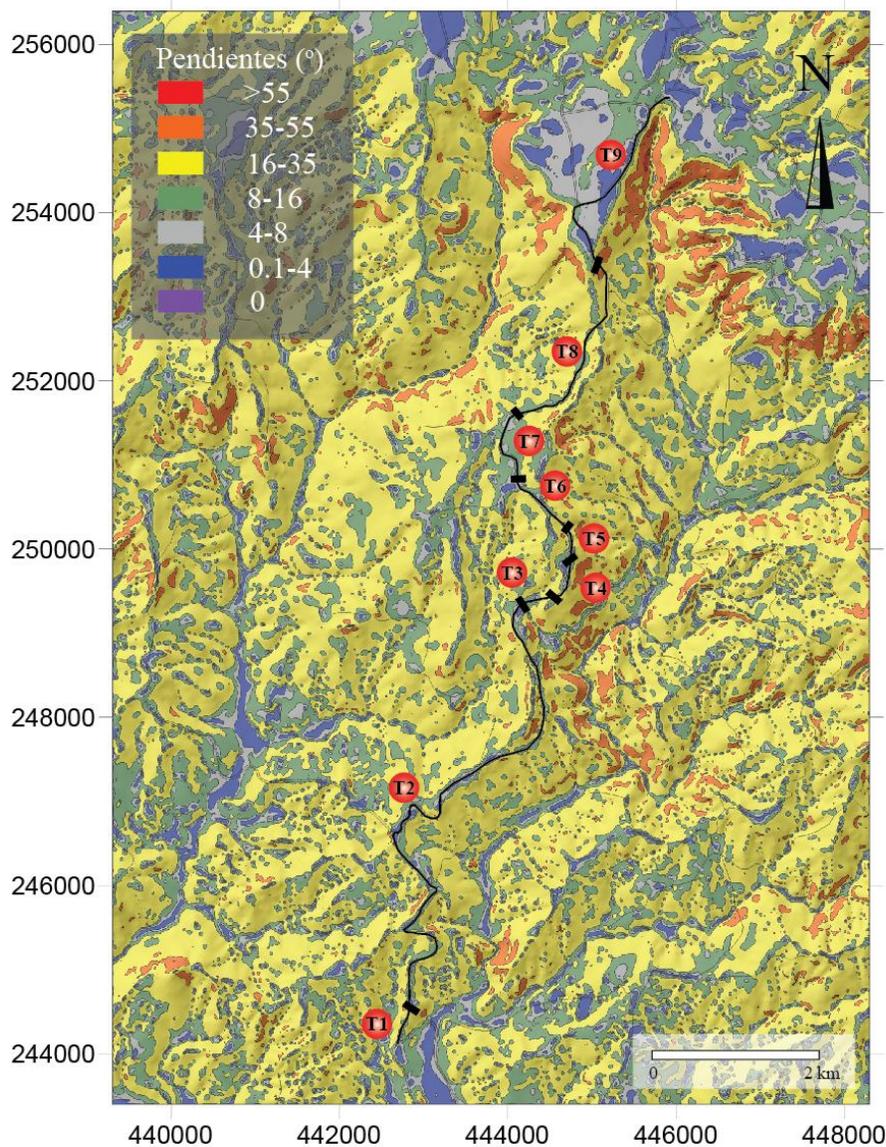


Figura N°3. Mapa de pendientes de la zona de estudio sobre MED y trazo de la ruta.

Tal como se observa, las pendientes en el tramo T9 son las más bajas, aunque el resto de trazado de la Ruta N° 606 presentan ángulos relativamente bajos. Sin embargo los taludes a los lados de la ruta si llegan a presentar ángulos superiores a 16° y hasta 55°.

Geología de la Ruta 606 Sección Guacimal – Santa Elena

Se presenta una correlación entre la información del Mapa geológico escala 1: 50 000 de la hoja Juntas de la Dirección de Geología y Minas del 2010 y del trazado de la Ruta Nacional N° 606 en la sección entre Guacimal y Santa Elena.

El objetivo de esta correlación es definir las diferentes litologías y estructuras tectónicas que atraviesan la ruta N° 606, además de manera preliminar, determinar como estas podrían influir en esta ruta.

En general, la sección estudiada atraviesa tres diferentes formaciones geológicas (Grupo Aguacate, Formación Monteverde y Cuerpos intrusivos e hipoabisales). Aquí se describen las principales características de cada una de estas litologías y sus variaciones, dependiendo del grado de alteración que presentan.

De acuerdo a la correlación realizada y en base a los cambios litológicos de las formaciones geológicas y sus zonas de alteración, la ruta se dividió en nueve tramos. Estos tramos fueron enumerados en orden consecutivo a partir del cruce de Guacimal hasta Santa Elena, se presentan en la figura del mapa geológico de la zona de estudio (ver figura N°4) y describen a continuación.

La mayor parte de la ruta estudiada, se ubica sobre la Formación Monteverde. En términos generales, los materiales de la Formación Monteverde se podrían considerar de mejores características mecánicas que los materiales asociados al Grupo Aguacate, sin embargo, los Cuerpos intrusivos e hipoabisales ubicados al Este de la carretera, han alterado hidrotermalmente las características originales tanto de las Formaciones Monteverde como las del Grupo Aguacate, y es por esta razón que no se pueden hacer generalizaciones y se vuelve necesario un estudio geológico en detalle de las características mecánicas de las rocas y taludes que afloran por donde pasa la carretera.

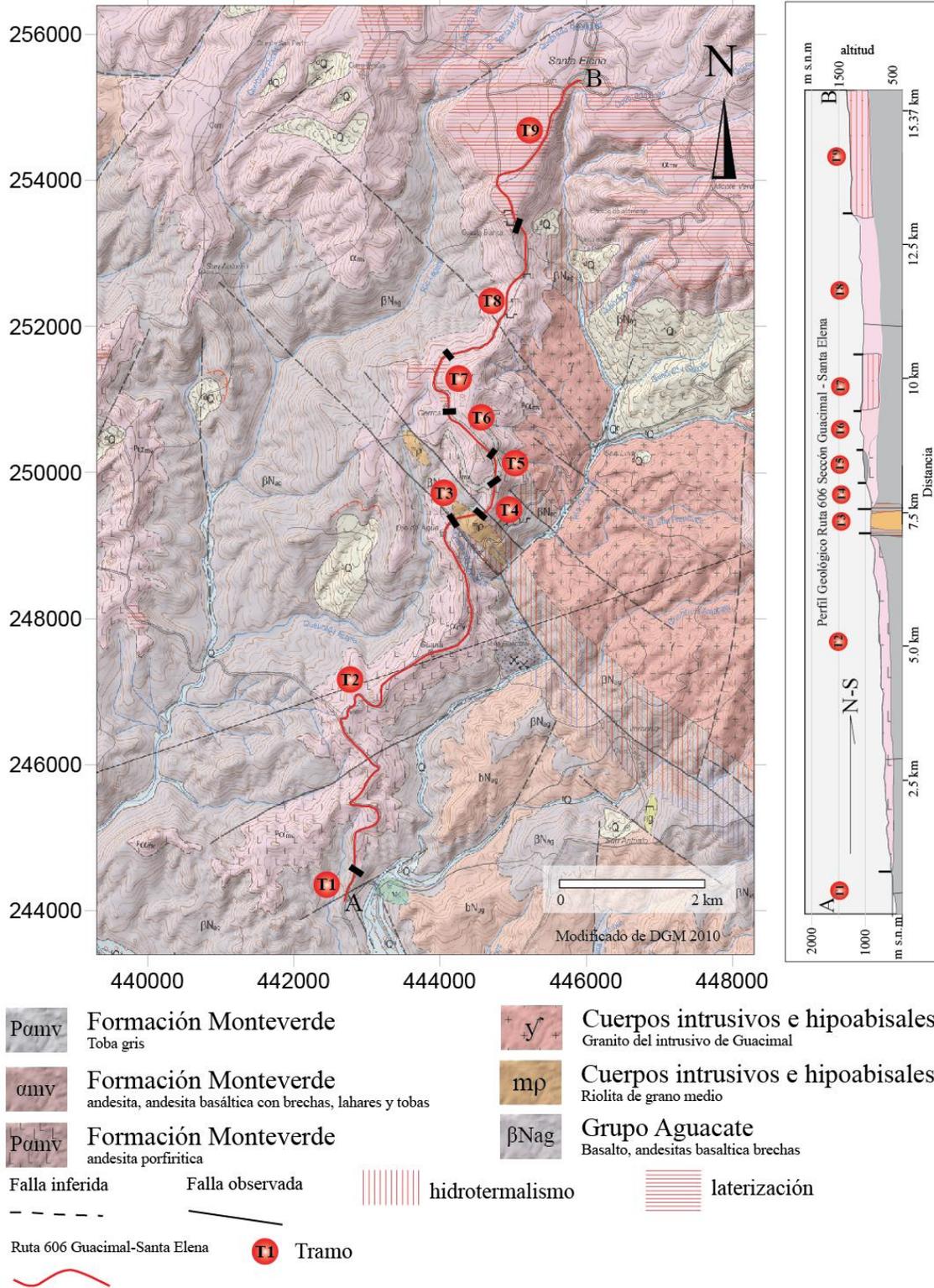


Figura N°4. Mapa geológico sobre MED y perfil geológico de la Ruta N° 606, se muestran las diferentes formaciones geológicas y su alteración.

Tectónica y sismicidad

Al menos seis fallas tectónicas cortan en algún punto la Ruta N° 606 entre Guacimal y Santa Elena, otras siete estructuras se ubican en las cercanías del proyecto dentro del área de estudio definida para este informe. Estas fallas aparecen en el mapa geológico de la Hoja Juntas de la DGM 2010 y el Atlas Tectónico de Costa Rica 2004.

Aunque no existen estudios detallados sobre la sismicidad directamente asociada a estas fallas, es muy probable que alguna/s de estas este activa y pueda generar sismos que disparen deslizamientos en la ruta. Por lo tanto, se recomienda realizar un estudio neotectónico y sísmico más detallado en esta zona para determinar la amenaza real de estas estructuras en cuanto a la generación de deslizamientos sismo genéticos, lo cual debiera ser práctica común en el desarrollo de proyectos viales en el país.

En un radio de ~100 km de distancia, en los últimos 63 años han ocurrido al menos cuatro terremotos que han disparado deslizamientos en las zonas cercanas a sus epicentros y en zonas montañosas del país (Datos de la Red Sismológica Nacional-UCR). Dos de estos eventos fueron generados por el proceso de subducción de la placa Cocos bajo la placa Caribe: Terremoto de Nicoya 1950 y Terremoto de Samara 2012 (ver figura N°5). Al ser eventos de subducción, estos ocurrieron a profundidades superiores a 30 km, por lo que la energía se extendió a mas zonas del país y tuvo el potencial suficiente para afectar zonas montañosas y generar deslizamientos, como por ejemplo el caso del reciente Terremoto de Sámara del 2012 que disparó deslizamientos en la zona de Zarceró y Tilarán.

Los otros dos terremotos históricos cerca de la zona de estudio, fueron generados por fallas locales y tuvieron poca profundidad. La energía de los eventos superficiales se disipó rápidamente en el terreno y los deslizamientos ocurrieron en las cercanías de los epicentros de cada evento, como el caso del Terremoto de Tilarán de 1973.

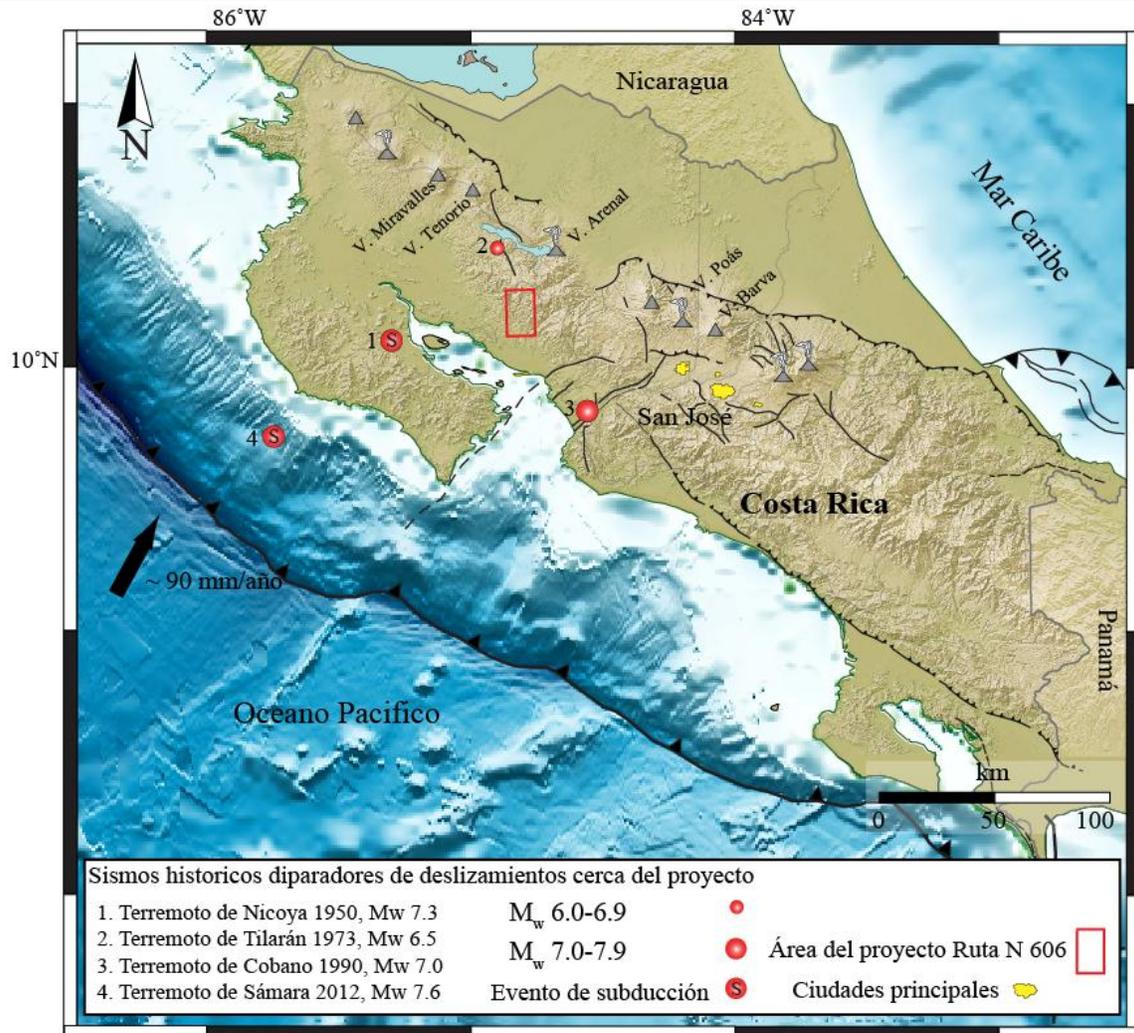


Figura N°5. Mapa de terremotos históricos cercanos al proyecto de la Ruta N° 606 que han disparado deslizamientos, de acuerdo a datos de la Red Sismológica Nacional (RSN). Han ocurrido 2 eventos de subducción y 2 terremotos originados por fallas locales.

Descripción geológica y tectónica de los tramos elegidos

Tramo 1 (T1)

En este tramo las rocas presentes son parte del Grupo Aguacate, se trata de basaltos, andesitas basálticas (lavas) con algunas brechas subordinadas. Usualmente las rocas del Grupo Aguacate están muy alteradas y su consistencia es muy mala. Hay una falla tectónica con rumbo SW-NE que corta la carretera en este sector. En este sector específico, es posible que existan fallas

secundarias que no fueron mapeadas y que las rocas estén alteradas hidrotermalmente. Las laderas montañosas en este tramo presentan pendientes entre 8° - 35° .

Tramo 2 (T2)

En este tramo las rocas presentes son parte de la Formación Monteverde. Se tratan de andesitas porfíricas (se pueden observar cristales en las rocas a simple vista), con inclusiones de otras rocas que tienen mayor contenido de sílice. Esta sección de la ruta está siendo cortada por una falla tectónica con rumbo SW-NE, posiblemente se trate de una zona de falla con estructuras secundarias que no aparecen en el mapa geológico pero si han alterado las rocas cercanas a esta. Mientras el trazado se mantiene sobre la divisoria, las pendientes son $<16^{\circ}$ sin embargo en sitios donde atraviesa una de las vertientes hay laderas con pendientes con ángulos $>35^{\circ}$.

Tramo 3 (T3)

En este tramo las rocas que afloran se relacionan con cuerpos intrusivos e hipoabisales (rocas ígneas de textura gruesa, se pueden ver cristales) específicamente se tratan de riolitas de grano medio. Muy cerca de este sitio, existe una zona con alteración metasomática (alteración por fluidos a altas temperaturas, también se conoce como alteración hidrotermal) relacionada con el intrusivo de Guacimal. También, este tramo se encuentra muy cerca de donde afloran rocas del Grupo Aguacate alteradas hidrotermalmente y entre dos fallas tectónicas con rumbo SE-NW. Las pendientes de hasta 35° en las laderas montañosas de este sector y la alteración hidrotermal antes mencionada, hacen que este sea uno de los tramos donde se deba presentar mayor atención al problema de deslizamientos.

Tramo 4 (T4)

En este tramo las rocas presentes pertenecen a la Formación Monteverde. Se tratan de andesitas porfíricas con inclusiones de otras rocas con más sílice. Además, hay rocas del Grupo Aguacate en las cercanías que hay servido como tajos y canteras para extraer material. Este tramo está ubicado muy cerca de una zona con alteración metasomática (alteración por fluidos a altas temperaturas, también se conoce como alteración hidrotermal) relacionada con el intrusivo de Guacimal. Este tramo está ubicado entre dos fallas tectónicas con rumbo SE-NW, posiblemente forman una zona de falla en sus cercanías las rocas que afloran cerca de sus trazas estén alteradas. Hay laderas montañosas en este tramos que presentan pendientes $>35^{\circ}$.

Tramo 5 (T5)

En este tramo las rocas presentes pertenecen a la Formación Monteverde. Se tratan tobas (cenizas soldadas, son relativamente duras cuando no están alteradas) de color gris. Como este

tramo está ubicado muy cerca de una zona con alteración hidrotermal relacionada con el intrusivo de Guacimal es muy probable que estas tobas estén muy alteradas. Este tramo está ubicado entre dos fallas tectónicas con rumbo SE-NW. Las pendientes de las laderas montañosas de este tramo, están entre 16° - 55° . Por las características descritas anteriormente este podría ser propenso a presentar deslizamientos.

Tramo 6 (T6)

En este tramo las rocas presentes pertenecen a la Formación Monteverde. Se tratan de andesitas, andesitas basálticas con brechas, lahares y tobas subordinadas. Además está ubicada muy cerca de una zona con alteración hidrotermal relacionada con el intrusivo de Guacimal. Los ángulos de las laderas montañosas en este tramo son $<35^{\circ}$.

Tramo 7 (T7)

Se tratan de andesitas, andesitas basálticas con brechas, lahares y tobas subordinadas. En esta parte las rocas han sufrido de laterización (formación de suelos ricos en óxidos de hierro y aluminio por descomposición de las rocas originales debido a cambios de temperatura y lluvias típicas de zonas tropicales). Entre el tramo 7 y 8 existe una falla tectónica. Es una zona relativamente plana con pendientes que no superan los 16° .

Tramo 8 (T8)

Se tratan de andesitas, andesitas basálticas con brechas, lahares y tobas subordinadas. Cerca de este tramo hay un depósito de deslizamiento importante con materiales del Grupo Aguacate. Una falla tectónica atraviesa este tramo con rumbo NW-SE. El trazo de la ruta no va exactamente sobre la divisoria, en este tramo atraviesa las vertientes pasando de la vertiente Oeste a la Este al menos en una ocasión. Hay varias canteras clandestinas viejas y algunas activas en este tramo, esto podría ser un factor de desestabilización de taludes y laderas en caso de que los cortes para la extracción de material se hagan sin la debida regencia. Las laderas presentan pendientes $<35^{\circ}$.

Tramo 9 (T9)

Se tratan de andesitas, andesitas basálticas con brechas, lahares y tobas subordinadas. En esta parte las rocas han sufrido de laterización (formación de suelos ricos en óxidos de hierro y aluminio por descomposición de las rocas originales debido a cambios de temperatura y lluvias típicas de zonas tropicales). Es un tramo relativamente plano, no hay cambios de altura importantes.

5. CONDICIONES GEOTÉCNICAS

La topografía de la zona, los suelos presentes y el trazado actual de la carretera generan una serie de condiciones, las cuales desde la perspectiva de la geotecnia requieren especial atención.

Corte y estabilización de taludes

En la lámina No.6 preparada por la empresa diseñadora se muestra la sección transversal típica propuesta para la carretera. En esta lámina el ángulo de corte indicado para los taludes es de 45° (pendiente 1:1). Sin embargo, el ángulo de corte a lo largo de un proyecto de más de 17 km de longitud no es constante, ya que varía según las condiciones particulares de los suelos presentes a lo largo de la carretera.

En la documentación estudiada no se hallaron los estudios geológicos ni geotécnicos, requeridos para una adecuada caracterización de los suelos que conforman los taludes del proyecto. Es mediante estos estudios que se logran determinar los ángulos de corte necesarios para garantizar la estabilidad de los taludes, así como las obras requeridas en caso de detectarse condiciones de inestabilidad.

En los lugares en los cuales el tipo de suelo, la topografía, las construcciones cercanas o la altura importante del talud dificulten realizar cortes para ampliar el ancho de la vía, es recomendable considerar la construcción de muros de contención. Para tales efectos deberán realizarse estudios específicos en cada tramo que sea considerado. Estos estudios deben considerar los tipos de suelos presentes, las propiedades físicas y mecánicas que los caracterizan, así como la topografía y las cargas a las cuales serán sometidos.

En la gira de campo realizada se detectaron tramos en la carretera que presentan condiciones como las indicadas anteriormente. Estos tramos deben ser intervenidos para lograr ampliar ancho de la vía. Por lo tanto, deben ser evaluados para determinar el tipo de intervención que se requiere en cada caso.

En la documentación estudiada no se encontró mención alguna sobre obras de estabilización específicas para las condiciones de la zona. Como referencia inicial se presentan en la siguiente tabla los tramos que se consideran requieren especial atención por esta condición.

Tabla N°1. Tramos en los cuales se recomienda considerar estudios específicos para el diseño de obras de estabilización.

Tramo	Estación Inicial	Estación Final
1	7+500	7+600
2	10+500	12+500
3	13+000	14+200
4	15+350	17+000
5	21+000	21+950

Notas:

- Los tramos de carretera indicados en la tabla anterior se presentan como una referencia inicial.
- Se recomienda que estos tramos sean evaluados mediante estudios geotécnicos específicos.
- La identificación de estos tramos no implica necesariamente el requerimiento de obras de estabilización en toda su longitud, sino que corresponden a tramos de la carretera que presentan taludes con alta pendiente y un ancho de vía estrecho, por lo cual es de esperar que requieran obras de estabilización puntuales para lograr ampliar el ancho de la vía.

A continuación se presenta el detalle de algunas de las observaciones realizadas en los tramos de carretera antes mencionados.

Tabla N°2. Tramo crítico para la construcción de la sección transversal de la carretera.

Tramo	Ubicación		Longitud (m)	Rango de anchos de DV* (m)	Observaciones
1	Est Inicio	7+500	100	9,0 - 9,3	-Ancho de calzada existente reducido que puede representar riesgo para encuentro de vehículos en dirección contraria.
	Est Final	7+600			-Curva C13 de radio reducido (R=30 m). -Talud del lado izquierdo con problemas de estabilidad y erosión por salida de paso de alcantarilla sin protección. -En planos el alineamiento horizontal se desplaza hacia la derecha para rodear zona angosta y talud inestable.
					

*DV=Derecho de vía medido en sitio.

Tabla N°2 (cont). Tramo crítico para la construcción de la sección transversal de la carretera.

Tramo	Ubicación		Longitud (m)	Rango de anchos de DV* (m)	Observaciones
2	Est Inicio	13+000	1 200	7,5 - 9,0	<ul style="list-style-type: none"> -Taludes a ambos lados de la vía con pendientes mayores a ½:1 y de aproximadamente 6-9m de altura. -Curvas C118, C119, C122, C129 y C130 de radio reducido ($16 \text{ m} \leq R \leq 30 \text{ m}$) -El material de los taludes corresponde a fragmentos rocosos en una matriz de suelo. -Se observan puntos donde la calzada existente es muy angosta debido a inestabilidad del talud derecho (ladera), los cuales significan un riesgo ante encuentros de vehículos en direcciones contrarias y caída de vehículos a la ladera.
	Est Final	14+200			
					

*DV=Derecho de vía medido en sitio.

Tabla N°2 (cont). Tramo crítico para la construcción de la sección transversal de la carretera.

Tramo	Ubicación		Longitud (m)	Rango de anchos de DV* (m)	Observaciones
3	Est Inicio	15+350	450	10,0 - 10,5	-El trazado actual de la vía y el alineamiento horizontal y vertical de planos es muy similar.
	Est Final	15+800			-Curvas C163, C164, C166 de radio reducido ($18\text{ m} \leq R \leq 24\text{ m}$). -Esta zona tiene curvas de radio menor a 30 m que podrían generar colisiones de vehículos en sentido contrario.
					
					

*DV=Derecho de vía medido en sitio.

Tabla N°2 (cont). Tramo crítico para la construcción de la sección transversal de la carretera.

Tramo	Ubicación		Longitud (m)	Rango de anchos de DV* (m)	Observaciones
4	Est Inicio	15+800	1 200	8,0 - 11,0	<p>-Prestar especial atención en cuanto a la seguridad de los usuarios por lo estrecho de la calzada existente.</p> <p>-En planos el alineamiento horizontal está desplazado hacia el talud izquierdo para lograr acomodar la sección transversal establecida.</p> <p>-Los taludes de ladera del lado derecho del camino tienen pendientes mayores a 1/2:1 y alturas mayores a 40 m.</p> <p>-Los taludes del lado izquierdo del camino, ubicados en la zona de corte, están compuestos por material rocoso fragmentado, pero su altura es menor, aproximadamente 4-6 m. Además, tienen cobertura vegetal de mediano tamaño que ayuda a su mantener su estabilidad.</p>
	Est Final	17+000			
					

*DV=Derecho de vía medido en sitio.

Tabla 2 (cont). Tramo crítico para la construcción de la sección transversal de la carretera.

Tramo	Ubicación		Longitud (m)	Rango de anchos de DV* (m)	Observaciones
5	Est Inicio	21+000	500	3,0 - 9,0	<ul style="list-style-type: none"> -El ancho de la calzada existente es reducido debido a que los taludes tienen pendientes mayores a 1/2:1. -Curva C280 de radio reducido (R=18 m). -Los taludes de ambos lados de la vía superan alturas de 10 m y se observan con densa cobertura vegetal que ayuda a mantener su estabilidad. -A pesar de la cobertura vegetal en Est 21+450 se observa zona donde el ancho de la calzada se reduce debido a la inestabilidad del talud izquierdo de ladera. -Zona alta donde se observó incidencia de neblina. -En planos la línea de centro de la carretera se desplaza hacia el lado derecho en la zona de talud de corte por la de topografía del terreno.
	Est Final	21+500			
					

*DV=Derecho de vía medido en sitio.

Tabla 2 (cont). Tramo crítico para la construcción de la sección transversal de la carretera.

Tramo	Ubicación		Longitud (m)	Rango de anchos de DV* (m)	Observaciones
6	Est Inicio	21+500	450	6,0 - 11,0	<ul style="list-style-type: none"> -Zona de donde aparentemente ocurrió un deslizamiento en el EST 21+550 que se estabilizó parcialmente por medio del corte de taludes y conformación de bermas en tres niveles. -En planos la línea de centro de la carretera se ha desplazado hacia el lado derecho para acomodar la sección transversal y alejarse de la ladera empinada, de manera que se realice la excavación de los taludes del lado derecho de la calzada existente. Curvas C289, C290 y C294 de radio reducido (R=30 m). -El ancho de la calzada existente en la curva 289 se reduce significativamente debido a la inestabilidad de la ladera en el lado izquierdo de la vía. -La inestabilidad del terreno en esta zona todavía se manifiestan del lado izquierdo de la calzada en la ladera. -Los taludes de ambos lado de la vía en la zona siguiente 21+650 a 21+950 tienen una pendiente prácticamente vertical y altura mayor a 20 m en ladera y 8-10 m del lado del corte.
	Est Final	21+950			
					

*DV=Derecho de vía medido en sitio.

La longitud agregada de las zonas identificadas por el LanammeUCR es de aproximadamente 3 000 m, lo cual corresponde a un 17% de la trayectoria total del proyecto, es decir un cuarto de la afectación (60-70% de la longitud total del proyecto) en cuanto a excavación de taludes de corte y/o relleno estimada en el Informe Final del diseño de la vía.

Las condiciones identificadas de topografía (taludes y laderas de pendiente mayor a $1\frac{1}{2}:1$), ancho reducido de la superficie de ruedo y radios de curvatura horizontal menores a 30 m convierte estos sitios en zonas de riesgo para los usuarios de la vía, en cuanto a eventuales encuentros de vehículos en sentido contrario, vehículos que puedan salirse de la vía y caer en laderas de gran altura o constantes deslizamientos de los taludes adyacentes al camino.

Por lo tanto, y buscando mantener la seguridad de la vía, se deberá prestar especial atención durante el proceso constructivo para lograr acomodar la sección transversal típica definida en planos, con un ancho de superficie de ruedo mínimo de 6,60 m y demás elementos como cunetas, barandas y muros de contención. En estas zonas, los planos constructivos indican un desplazamiento del alineamiento horizontal hacia los taludes existentes, de manera que se realicen excavaciones de corte durante la construcción para alejar la superficie de ruedo de las empinadas y altas laderas. Esto se debe complementar con ajustes al diseño geométrico para que la sección transversal en curvas de radio reducido (menor a 30 m) incluya un sobre ancho, permitiendo que vehículos largos como autobuses o camiones medianos realicen los giros sin invadir el carril contrario y por lo tanto, se eviten los problemas de seguridad mencionados en el párrafo anterior.

Se considera que en la longitud restante del proyecto (14 419 m) es posible implementar sencillas medidas alternativas de diseño geométrico que ayudarían a mejorar el nivel de servicio y seguridad de la carretera. El principal cambio que se recomienda es aumentar la superficie de ruedo a un ancho de 6,60 m (dos carriles de 3,30 m de ancho) dependiendo de las condiciones del sitio. Se podría reducir el sobre ancho del pavimento (SAP) indicado en el diseño original de 0,70 m a un máximo de 0,50 m (mínimo indicado por el Manual SIECA 2011), esto compensaría el aumento en el ancho de los carriles de manera que requeriría contar con un derecho de vía de 10,10 m para la sección con típica en corte (20 cm más que lo indicado en planos) y de 8,35 m para la sección típica con cordón y muro (10 cm más que lo indicado en planos).

En la gira de inspección realizada también se identificaron varios taludes con condiciones que se recomiendan sean evaluadas mediante estudios geotécnicos específicos. Los puntos que se indican a continuación (Tabla N°3) se brindan como una referencia preliminar, no es un listado completo y no sustituye una valoración completa de los taludes del proyecto.

Tabla N°3. Taludes con condiciones específicas que deben ser evaluadas.

Estación	Lado	Observaciones
10+760	LI	Talud con material inestable
13+280	LI	Talud de altura importante
14+020	LI	Talud con material inestable
15+750	LI	Intervenir, material suelto
16+040	LI	Presenta rocas en condición inestable
16+430	LI	Talud con material suelto parte superior
17+000	LI	Talud con material suelto parte superior
21+550	LD	Deslizamiento importante

Protección de taludes

En el cartel de licitación y las láminas estudiadas no se encontraron referencias sobre el diseño de obras de protección para los taludes de la carretera. Estas obras incluyen los sistemas de control de erosión, la siembra de vegetación, obras para el manejo del agua de escorrentía, etc.

La protección superficial de taludes es un componente integral de las obras de una carretera, debe estar considerada desde el inicio y debe realizarse inmediatamente después del movimiento de tierras.

Por lo tanto, se recomienda la implementación de obras de protección superficial en todos los taludes que sean intervenidos con movimiento de tierras, así como aquellos taludes que actualmente estén expuestos a los agentes erosivos, muestren indicios de deterioro y no cuenten actualmente con una protección superficial.

Las obras de protección pueden incluir mantos para control de erosión y es muy importante la siembra de plantas o semillas de vegetación propia de la zona. La vegetación debiera ser tipo rastrera (que tienda a tupirse y cubrir el talud), para garantizar que en el corto plazo se disminuya la pérdida de suelo por acción de la lluvia.

Drenajes

Los principales componentes de cualquier sistema de drenajes completo son: El bombeo de la superficie de ruedo, las cunetas, contra-cunetas, disipadores de energía, sangradores, pasos de alcantarilla con entradas y salidas con protección contra erosión y finalmente, subdrenajes para la evacuación de aguas subterráneas si es necesario.

La zona donde se ubica la parte más elevada de la carretera es altamente lluviosa y tiene una topografía montañosa con altas pendientes, esto convierte el sistema de drenaje en un elemento fundamental de la carretera para garantizar la seguridad de la vía durante lluvias y evitar el deterioro prematuro o colapso por exceso de humedad en la estructura de pavimento y en la superficie de ruedo (granular o asfáltica).

En la lámina N°10 del diseño se muestra el detalle de una cuneta revestida con concreto, los cabezales y las tomas para el alcantarillado. Sin embargo, hasta la fecha de emisión de este informe no se ha tenido acceso a los estudios hidrológicos e hidráulicos que sustentan el diseño de estas obras.

En estas láminas se indica también la construcción de nuevas alcantarillas y se recomienda mantener la mayoría de las que ya existen. Nuevamente, el equipo técnico que realizó el presente informe no contó con los estudios o los criterios que privaron en el diseño de estas obras, por lo cual los criterios que se pueden emitir al respecto son limitados. Según se observó en el campo, muchas alcantarillas presentan actualmente deterioros que disminuyen su capacidad y afectan su desempeño.

En caso de existir esos diseños se recomienda su revisión por parte de la Administración, con el fin de determinar su validez, considerando el estado actual de las alcantarillas, la condición hidrológica actual y futura de la zona del proyecto. También recomendamos la revisión del dimensionamiento de las cunetas, cajas, alcantarillas y todas las obras para la captación, conducción y descarga de las aguas producto de la lluvia.

Para aquellos taludes que sean intervenidos con movimiento de tierras y sean cortados con terrazas o bermas intermedias, se recomienda la construcción de contracunetas en cada berma para el manejo del agua de escorrentía. Esas contracunetas, así como las tuberías, los puntos de

descarga y todas las obras complementarias deberán ser diseñadas por un profesional competente en esta área, el cual considere las condiciones hidrológicas propias de la zona.

La longitud de cuneta revestida indicada en planos es de 24 758,0 m (12 399,0 m a cada lado de la calzada) distribuida a lo largo de la trayectoria del camino. Durante la inspección visual realizada se identificaron los tramos que se muestran en la tabla N°4, donde los planos constructivos no indican la construcción de cunetas revestidas a pesar de que a nuestro criterio se podrían presentar problemas de erosión y transporte de sedimentos por las pendientes del terreno.

Tabla N°4. Tramos en los cuales el diseño de INMSA no plantea la construcción de cunetas revestidas.

Tramo	Ubicación		Longitud del tramo (m)	Pendiente máxima de la calzada (%)
	Estación Inicial	Estación Final		
1	9+600	9+800	200	8,5
2	11+300	11+600	300	10,3
3	15+250	15+400	150	7,5
4	17+600	18+300	700	5,4
		Total (m)	1 450	

En el diseño propuesto para la vía se incluyen un total de 108 pasos de alcantarilla transversal, de los cuales 61 (56%) se proponen como *Mantener Alcantarilla Existente (M.A.Ex.)*, mientras que 45 (42%) pasos tienen la indicación de *Construir Alcantarilla Transversal de Tubo de Hormigón Reforzado (C.A.T.T.Hr)* y 2 pasos (2%) se plantean como *Construir Alcantarilla Longitudinal de Tubo de Hormigón Reforzado (C.A.L.T.Hr)*. Además, solo 19 de los 45 pasos de alcantarilla existentes que se indica mantener (*M.A.Ex.*), serían ampliados en su longitud o mejorados con la construcción de cabezales de entrada o salida.

En la gira realizada se revisaron algunos de los pasos de alcantarilla existentes, para los cuales en los planos se propone mantener en su condición actual o mejorar con la construcción de cabezales de entrada y/o salida. En las Figuras N°6, 7, 8 y 9 se puede observar ejemplos de estas estructuras de drenaje transversal, donde se evidencia que hay cabezales deteriorados y tuberías obstruidas con sedimentos.



Figura N°6. Paso de alcantarilla transversal Est 8+080.

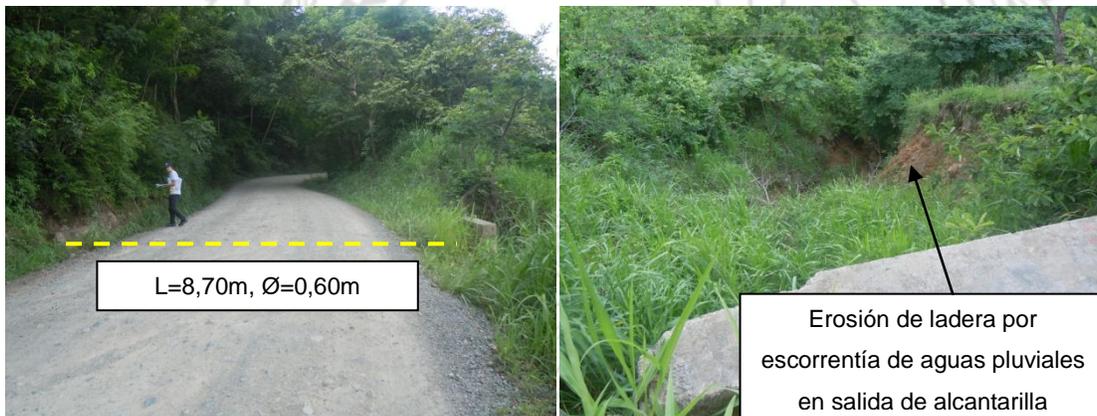


Figura N°7. Paso de alcantarilla transversal Est 8+350.



Figura N°8. Paso de alcantarilla transversal Est 17+020.



Figura N°9. Paso de alcantarilla transversal Est 19+750.

Un aspecto que se considera, debe ser objeto de mayor atención, son los pasos transversales de alcantarilla, específicamente la longitud y el diámetro de las mismas. Algunos de los pasos existentes que se proponen mantener en planos tienen longitudes reducidas menores a 9,00 m con un diámetro de 0,60 m en todos los casos.

La longitud reducida de estos pasos de alcantarilla limitaría la construcción de la sección transversal típica del proyecto, si se considera que los cabezales deben ubicarse a una distancia no menor de 1,50 m del borde de la superficie de rueda a ambos lados, para conservar la seguridad del camino. La Figura N°10 muestra que la longitud mínima requerida para los pasos de alcantarilla sería de 9,60 m con un ancho total de 10,85 m a 12,10 m (dependiendo si se requiere cuneta a un lado o ambos lados de la vía).

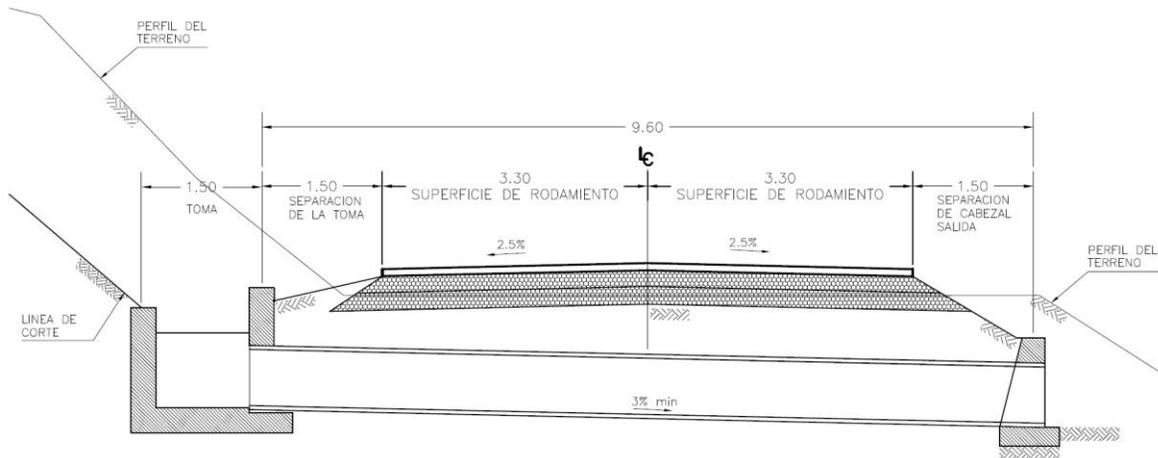


Figura N°10. Ejemplo de Sección Transversal requerida en la ubicación de alcantarillas transversales.

Debe destacarse la ausencia, en los planos estudiados, de subdrenajes longitudinales para la carretera. Estos subdrenajes contribuyen a disminuir la saturación de la sub-rasante y la estructura del pavimento durante los periodos de lluvia. De esta forma se favorece el desempeño de la estructura en el mediano y largo plazo.

Ante la ausencia de estas obras se recomienda realizar el diseño correspondiente, por parte de profesionales competentes en esta área, con el fin de incluir subdrenajes longitudinales como parte de las obras que serán construidas.

6. DISEÑO GEOMÉTRICO

Características del proyecto

Zona	Rural-Turístico-Producción Agrícola
Superficie de ruedo actual	Grava
Longitud del proyecto	17 419,10 m (Estación inicial 6+750, Estación final 24+169,10)
Velocidad de diseño	50 km/h
Vehículo de diseño	Bus: Altura: 3,70 m, ancho: 2,60 m, longitud: 12,20 m
Tipo de sección transversal predominante	Sección transversal en balcón con taludes de relleno y corte empinados

La Ruta Nacional No. 606, Sección Los Ángeles-Santa Elena (Tramo Guacimal-Santa Elena) es parte fundamental del camino hacia las localidades de Monteverde y Santa Elena, ya que conecta los dos principales accesos que se derivan de la Ruta Nacional No.1 en la zona de Guacimal (ver figura N°11).

Uno de estos accesos se extiende por Rancho Grande-Sardinal-Guacimal (RN 606) y el segundo se ubica a la altura de Río Seco pasando por La Irma-Sarmiento-Guacimal (RN 605), el cual se encuentra pavimentado y presenta anchos de carril de 3,00 m y una velocidad de diseño de aproximadamente 50 km/h así como barreras flexibles en curvas y laderas. Además, es posible llegar a Monteverde desde Tilarán por la Ruta Nacional 145 y la sección norte de la Ruta Nacional 606 como se observa en la Figura N°11.

La ruta presenta características propias de un camino de montaña cuyo trazado actual es sinuoso porque se adapta a la topografía natural del terreno en la mayoría de su longitud. Se tienen radios de curvatura muy reducidos (algunos menores a 15 m), pendientes muy altas (en algunos sitios mayores a 20%) para salvar una diferencia de nivel entre el inicio y el final de 794 m y un ancho de calzada muy angosto (en algunos puntos menor a 4 m).

La Ruta a Monteverde es principalmente una ruta de acceso al desarrollo agrícola y turístico de la zona, por lo que la transitan desde vehículos livianos hasta camiones y autobuses. Actualmente es un camino peligroso, donde el conductor debe estar alerta ya que es un trayecto con taludes de corte y de relleno bastante empinados. No presenta iluminación o dispositivos reflectantes durante

la noche, en la parte alta de la montaña es común encontrarse con bancos de neblina. No hay barreras de contención en parte externa de las curvas de radios menores con laderas empinadas.

La pendiente longitudinal casi en su totalidad es en una sola dirección, desde Guacimal hasta Monteverde es en pendiente ascendente. Los tramos rectos o con visibilidad de adelantamiento son pocos y no recomendables para adelantar, por la corta distancia para realizar la maniobra.

El turismo predominante en esta zona es el extranjero, por lo que es frecuente el tránsito de autobuses o vehículos alquilados por los turistas que muy probablemente visitan este destino por primera vez, lo que significa para este último usuario, experimentar un recorrido al cual no está acostumbrado, y donde no se cumple con medidas de seguridad mínimas como señalización, iluminación o barreras de contención.

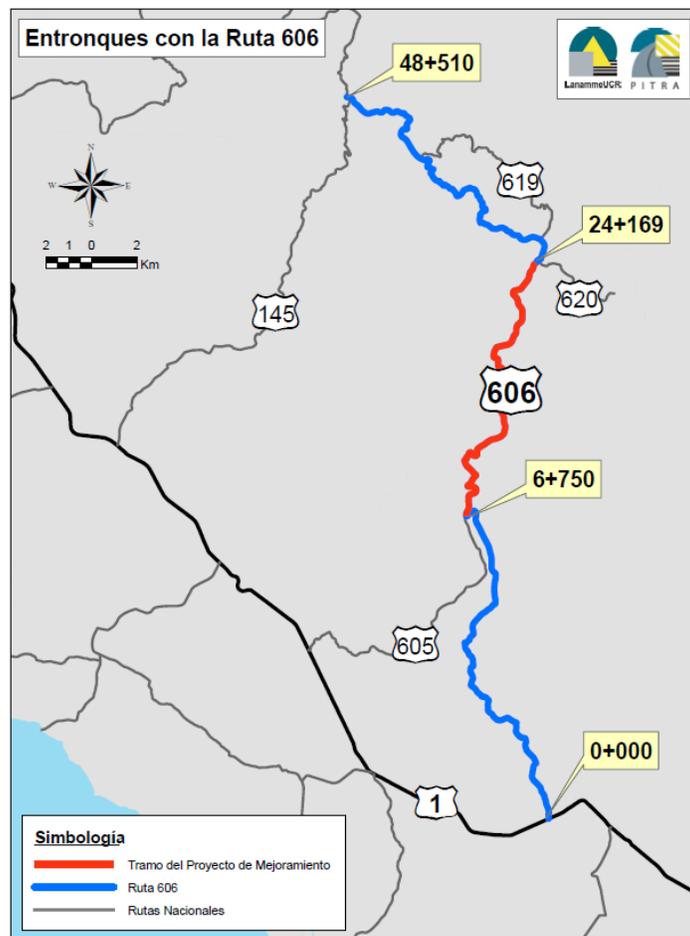


Figura N°11. Entronques de la Ruta Nacional 606.

El acceso por la ruta 606, de la estación 0+000 a la estación 6+750, ya se encuentra pavimentado y presenta un estándar de diseño muy similar al cual se quiere mantener en el resto de la ruta.

Los demás accesos a este tramo, son por la ruta 605 y por la ruta 145. Así las cosas, se recomienda realizar un **estudio adicional** a nivel red, que contemple la evaluación también de estas rutas, pues los proyectos desde el punto de vista de planificación no deben quedar aislados, por el contrario, deben proyectarse estratégicamente para que cumplan un nivel de servicio integral en la zona, principalmente por que se tratan de colectores provenientes de zonas turísticas importantes como lo son el Pacífico Norte y Tilarán, entre otros.

Clasificación funcional de la ruta

De acuerdo a las características anteriormente descritas la Ruta Nacional No. 606 en su sección: Los Ángeles-Santa Elena (Tramo Guacimal-Santa Elena) se puede clasificar como un camino **Colector Menor Rural (CR)** según lo indicado en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (SIECA 2011).

Un camino **Colector Menor Rural (CR)** se define según SIECA 2011 como aquella ruta que:
"(...) provee un menor nivel de servicio que la arterial. Se permiten velocidades menores en distancias cortas por servir de colector de tráfico de caminos locales y los conecta con las arteriales."

El Cuadro 1.3 del mismo manual, que se muestra en la tabla N°5, indica que un camino **Colector Menor Rural (CR)** típicamente presenta un Tránsito Promedio Diario (TPD) proyectado al año final de diseño de entre 500 - 3000 vehículos y 2 carriles en la calzada.

Esto coincide con los datos de TPD considerados en el diseño original y confirmados por el LanammeUCR en sus mediciones recientes.

Tabla N°5. Sistema de Clasificación Funcional.

FUNCIÓN	CLASE DE CARRETERA(1)	NOMECLATURA	TPD(2) (AÑO FINAL DE DISEÑO)	Número de Carriles
ARTERIAL PRINCIPAL	AUTOPISTA	AA	>20,000	6-8
	ARTERIAL RURAL	AR	10,000-20,000	4-6
	ARTERIAL URBANA	AU	10,000-20,000	4-6
ARTERIAL MENOR	ARTERIAL MENOR RURAL	AMR	3,000-10,000	2
	ARTERIAL MENOR URBANA	AMU	3,000-10,000	2
COLECTOR MAYOR	COLECTOR MAYOR RURAL	CMR	10,000-20,000	4-6
	COLECTOR MAYOR URBANA	CMU	10,000-20,000	4-6
COLECTOR MENOR	COLECTOR MENOR RURAL	CR	500-3,000	2
	COLECTOR MENOR URBANA	CU	500-3,000	2
LOCAL	LOCAL RURAL	LR	100-500	2
	LOCAL URBANO	LU	100-500	2
	RURAL	R	<100	1-2

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (SIECA, 2011)

Alineamiento Horizontal

La propuesta de diseño geométrico contiene 320 curvas horizontales, de las cuales 63 presentan un radio igual o menor a los 30 metros (Ver Anexo). Esto equivale a un 20% de curvas que presentan un radio de giro donde la velocidad se reduce a 30 km/h o menos. La tabla N°6 muestra las curvas horizontales propuestas en el diseño geométrico del Cartel de Licitación.

Tabla N°6. Curvas Horizontales propuestas en el diseño geométrico del proyecto de Mejoramiento de la Ruta 606.

Rangos de Radios	Cantidad
15 m - 30 m	63
30,01 m - 50 m	90
50,01 m - 100 m	116
100,01 m - 200 m	27
200,01 m - 300 m	18
300,01 m - 400 m	4
400,01 m - 500 m	1
500,01 m - 1000 m	1
Total	320

Preocupa al equipo técnico encargado de este informe el rango de curvas con radio entre los 30 a 50 m, que contiene 90 curvas que están en los límites mínimos de las especificaciones típicas para un proyecto como el analizado y que afectarían la velocidad de operación y el confort de los usuarios de esta vía.

La distribución de curvas con rango de 15 a 30 m se da a lo largo de toda la longitud del proyecto, por lo que afectaría la velocidad de operación desde el inicio hasta el final del trayecto. La localización de estas curvas se muestra en la siguiente tabla.

Tabla N°7. Distribución de curvas horizontales con radios menores a 30 m.

Estación	Curva	Radio (m)	Estación	Curva	Radio (m)	Estación	Curva	Radio (m)
6+769	C1	17	11+926	C93	28	15+435	C164	24
7+571	C13	30	11+966	C94	24	15+545	C166	23
8+406	C24	30	12+032	C96	28	15+604	C168	20
8+900	C32	30	12+487	C106	30	15+633	C169	30
9+109	C35	16	13+187	C118	20	15+733	C172	22
9+325	C40	24	13+256	C119	16	16+428	C187	30
9+382	C41	30	13+298	C120	30	16+993	C195	25
9+411	C42	30	13+418	C122	25	17+136	C198	25
9+706	C48	28	13+447	C123	25	17+425	C206	22,5
9+778	C49	30	13+482	C124	30	17+775	C213	30
10+730	C68	20	13+666	C129	30	17+925	C216	30
10+792	C70	30	13+722	C130	20	19+236	C240	24
10+844	C71	23	13+850	C133	25	19+284	C241	18
10+899	C72	20	14+172	C140	30	19+352	C243	30
10+948	C73	24	14+300	C143	30	19+700	C251	30
11+042	C74	29	14+613	C148	20	19+754	C252	17
11+222	C77	20	14+681	C150	30	20+183	C261	20
11+360	C80	20	14+711	C151	30	21+052	C280	18
11+436	C82	20	14+770	C152	30	21+646	C289	30
11+487	C83	25	14+806	C153	30	21+709	C290	30
11+545	C84	28	15+404	C163	18	21+875	C294	30

Con respecto al alineamiento horizontal se debe mencionar que la carretera es una vía de tipo montañoso, lo que implica que el trazado debe seguir la topografía de la zona para adaptar lo mejor posible la sección del camino al entorno natural, así de esta forma evitar grandes volúmenes de corte, alteración del ecosistema e inestabilidad de laderas.

La carretera existente desde su creación no tuvo un estudio de ingeniería que determinase el mejor trazado; lo que la convierte en un camino con tramos en los que la sección transversal se reduce, limitando el ancho de la calzada.

En las curvas horizontales se deben aplicar sobreeanchos que ayuden la maniobra y aseguren la seguridad del usuario. En la figura N°12 se muestra en achurado gris la ubicación de los sobreeanchos que se recomienda sean considerados.



Figura N°12. Ubicación de sobreeanchos.

Fuente: <http://www.mtc.gob.pe>. Agosto, 2013.

Las curvas horizontales de radio pequeño, junto con las secciones en balcón de laderas empinadas, son los dos principales problemas que presenta el trazado de esta ruta, afectando negativamente el confort del usuario y el nivel de servicio de la vía. Por lo tanto, y comprendiendo

que se trata de una ruta de montaña, se debe mantener el diseño dentro de los rangos permisibles de las especificaciones para lograr un nivel de seguridad vial aceptable, sin aumentar de forma significativa el costo de la obra.

Entre los principales inconvenientes que se presentan al tener radios de curvas tan pequeños, se encuentran las maniobras de giro, principalmente cuando se topan de frente dos vehículos y mucho más grave aún cuando se trata de vehículos grandes y pesados, como podría ser el caso de que dos autobuses se topen de frente en una curva cerrada.

También existe el peligro de que en curvas tan cerradas o donde el cambio de dirección es mayor a los 90°, los vehículos puedan correr el riesgo de salirse de la vía, ya que además, las laderas en su mayoría presentan laderas bastante empinadas en las curvas externas.

Actualmente también se presenta un problema de visibilidad, cuando los taludes de corte de pendiente alta, que se localizan en la parte interna de la curva, limitan la visibilidad del chofer, pudiéndose provocar una colisión frontal.

El grupo técnico redactor de este informe comprende la tendencia a proponer curvas que se adapten a la topografía y así evitar rectas que induzcan aumentar la velocidad de diseño, pero es necesario respetar los parámetros mínimos especificados en los reglamentos de diseño, de modo que se garantice la seguridad, confort y nivel de servicio de la ruta.

En los diseños propuestos para la ruta, no se contemplaron curvas de transición, que favorezcan la maniobra de giro y el ángulo de visibilidad dentro de la curva, lo cual es comprensible dada la topografía de la zona, pero con mucho más razón se justifica nuevamente, la necesidad de integrar sobrecanchos a las curvas horizontales.

Otro faltante importante detectado es que no se especificó en los planos revisados el peralte en las curvas. Este parámetro es necesario incluirlo debido a que en muchos sitios después de una curva, la ladera es bastante empinada, como se muestra en la siguiente fotografía.



Fotografía N°1. Curvas horizontales en sección en “balcón”, con laderas empinadas.

Los radios de curvas horizontales menores a 30 m propuestos para esta carretera van a reducir la velocidad de diseño en 20 km/h. Actualmente eso no es un problema mayor para el tránsito promedio diario, pero cuando esta carretera sea pavimentada y sea un destino más visitado por los turistas nacionales, dicha reducción a 30 km/h en las curvas horizontales, puede eventualmente provocar filas de tránsito lento.

Sección Transversal

La sección transversal es la definición espacial y gráfica de los anchos de la vía necesarios para incorporar los diferentes componentes fundamentales para su funcionamiento adecuado de acuerdo a los parámetros considerados en el diseño geométrico horizontal y vertical. Los elementos básicos que deben incluirse en la sección transversal son: anchos de superficie de rodamiento, carriles, espaldones y aceras peatonales con su correspondiente pendiente de bombeo, diseño transversal y pendientes de los drenajes superficiales (cunetas y alcantarillas),

pendientes de taludes de corte y relleno y secciones de los muros de contención (de ser necesarios). Para poder incorporar todos estos componentes al camino se debe contar con un ancho de derecho de vía suficiente o mayor si se proyectan mejoras del camino a futuro.

La norma de referencia para diseño geométrico de carreteras indicadas en SIECA 2011 en sus los Capítulos 3 y 4 establece anchos asociados para el derecho de vía, superficie de ruedo, espaldones y demás elementos básicos de la sección transversal de la carretera. Este manual indica que para un camino Colector Menor Rural (CR) el derecho de vía adecuado para una carretera colectora debe variar entre 20 y 30 m, la superficie de ruedo va de 6,6 a 7,2 m, el hombro o espaldón varía de 1,2 a 1,6 m y el ancho de las aceras peatonales debe ser de entre 1,0 y 1,2 m en las zonas donde sea necesario para el tránsito peatonal. El manual también indica que es deseable la construcción de un sobre ancho del pavimento (SAP) para lograr una adecuada compactación en los bordes de las capas granulares de este durante la construcción y redondeo del vértice del hombro para colocación de barandas y señalamiento vertical, el cual debe ser de al menos 0,50 m.

La superficie de ruedo se especifica en el apartado 4.1.3 de este manual con la indicación de un ancho de carril óptimo de 3,60 m para condiciones de alto tránsito, 3,30 m es deseable en zonas con derecho de vía restringido y 3,00 m es aceptable únicamente en los casos de vías de baja velocidad y bajo volumen de tránsito. Lo anterior se complementa con los espaldones cuyos anchos mínimos especificados para el tipo de carretera Colector Menor Rural (CR) se indicaron en el párrafo anterior, pero además se indica que en los casos donde por circunstancias especiales no es posible construir los espaldones especificados, se debería alternativamente proveer refugios cada 400 m a cada lado de la vía para que los vehículos se estacionen en caso de emergencia.

El Informe Final de la empresa diseñadora indica que se procuró mejorar sustancialmente el ancho de la calzada existente con una sección transversal de 6,0 m de superficie de ruedo en toda la longitud del proyecto, fundamentándose en que se cumple con estándares de caminos de bajo volumen de tránsito, se mejora la seguridad para los encuentros de vehículos en sentido contrario y es una medida económica. La empresa indica que en el diseño se desplazó el alineamiento horizontal hacia el talud de corte para lograr acomodar la sección transversal en las zonas donde se identificó problemas de seguridad por la fuerte pendiente de los taludes en ladera. Lo anterior afectaría entre un 60-70% de la trayectoria del proyecto que deberá intervenir en el momento de la construcción por medio de excavaciones en los taludes de corte principalmente.

En la lámina 6/41 de los planos constructivos de la carretera se muestran dos secciones transversales típicas para el proyecto, junto con los detalles de cuneta revestida y barandas en la lámina 10/41. Al menos en los planos (41 láminas) no se considera la incorporación aceras ni espaldones en ningún lugar de la trayectoria del proyecto.

La Tabla N°8 resume los anchos de cada elemento considerados en la sección transversal típica del proyecto de acuerdo a los planos constructivos y se estima el ancho requerido de derecho de vía para construir todos los elementos de la sección transversal.

Tabla N°8. Resumen de anchos de la sección típica indicada en los planos.

Elemento	Sección típica en corte (m)	Sección típica con cordón y caño (m)
Ancho de carril (m)	3,0	3,0
Superficie de rodamiento 2 carriles (m)	6,0	6,0
Sobre ancho del pavimento (SAP) (m)	0,7 (ambos lados de la vía)*	0,7 (lados del talud de corte)*
Ancho total de cuneta revestida (m)	1,25 (ambos lados de la vía)**	1,25 (lado talud de corte)**
Ancho de cordón y muro (m)	-	0,3 m (lado talud de ladera)
Total derecho de vía requerido (m)	9,90	8,25

*Ancho estimado del sobre ancho del pavimento (SAP) requerido para compactación de bordes de las capas granulares y superficie de ruedo.

**Ancho total estimado de cuneta con pendiente del talud de corte 1;1 como se indica en planos.

Los planos constructivos cuentan con las láminas de planta-perfil donde se logra visualizar que el alineamiento vertical de la carretera se conserva en su mayoría muy similar al camino existente con la excepción de algunas zonas de leve corte o relleno.

Sin embargo, en los planos no se observan secciones transversales donde se compare el terreno natural existente junto con la sección típica del proyecto. Estas secciones normalmente se incluyen en planos constructivos de carreteras y se generan en intervalos de 10 a 20 m para estimar adecuadamente los volúmenes de corte en taludes y relleno en laderas. Esta herramienta gráfica ayuda a identificar en la etapa de diseño sitios donde los taludes o rellenos generados representen complicaciones constructivas, costos excesivos de movimiento de tierras y riesgos para los usuarios, de manera que se optimice el alineamiento horizontal y vertical de la vía; en la parte de

presupuesto las secciones transversales son fundamentales para estimar los volúmenes de excavación asociado al contrato y finalmente durante la etapa constructiva son fundamentales para el trazado, inspección, control de avance y estimaciones de la obra.

Alineamiento Vertical

El equipo técnico redactor del informe encontró algunos puntos que deben mejorarse con respecto a las pendientes máximas y longitudes críticas en pendiente, que podrían afectar el desempeño de los vehículos y la velocidad de operación de la carretera y también con respecto a las curvas convexas o en cresta que podrían afectar la distancia de visibilidad de objetos y la distancia de parada (Ver Anexo).

Las pendientes máximas deben ser suavizadas, mejorando la línea de corte. Si no se puede disminuir la pendiente al inicio de la cuesta, se debe tratar de realizarlo al final, en donde el vehículo realiza el mayor esfuerzo.

En particular, se halló un tramo de pendiente bastante pronunciada de aproximadamente 60 m de longitud, con una pendiente de 23,4%, lo cual puede provocar problemas en el desempeño mecánico de los vehículos (calentamiento del motor y frenos), aumento en el consumo de combustible, ruido y disminución en la velocidad. La tabla N°9 muestra los tramos que presentan las pendientes máximas, los cuales se recomienda que sean objeto de análisis para su modificación.

Tabla N°9. Tramos que presentan las pendientes máximas. (Ver Anexo).

Estación Inicial	Estación Final	Pendiente (%)
17+255	17+320	23,4
16+170	16+180	14,5
7+960	7+970	14,5
16+600	16+650	14,2
6+905	6+910	13,1
16+380	16+390	12,9
21+690	21+710	12,8
21+000	21+010	12,7
8+467,5	8+470	12,5

Longitudes críticas en pendiente

Las longitudes críticas de pendiente se relacionan con la operación deseable de los vehículos y se busca que estos no tengan que reducir la velocidad más allá de los límites establecidos, debido a la pendiente en ese tramo.

Así las cosas se encontraron dos tramos con condiciones críticas relativas a este parámetro de diseño, que, como se indicó, afecta el rendimiento de los vehículos y su velocidad de operación. El primero se encuentra entre las estaciones 7+690 y 7+920, con una longitud de 230 m y una pendiente de 9,5%. Este tramo se localiza al principio de la ruta, en el sentido Guacimal – Monteverde, por lo que podría generar filas de congestión desde el inicio del recorrido.

Aunque la topografía en este punto, permitiría aumentar un poco el ancho del carril y señalar con línea discontinua para permitir el adelantamiento; esta idea no es recomendable, pues el chofer va a percibir que está permitido el adelantamiento, situación que es prohibida durante todo el recorrido, por esto se recomienda en este sitio suavizar la pendiente y construir espaldones.

El segundo punto hallado con longitud crítica de pendiente se localiza entre las estaciones 21+210 y 21+570, con una longitud de 360 m y una pendiente de 9,8%. Este tramo, adicionalmente presenta el problema de que se encuentra en una zona donde la sección transversal tipo “balcón” presenta taludes de corte y relleno bastante empinados, donde no es recomendable tampoco proponer señalización horizontal que permita el adelantamiento, pues es una zona bastante peligrosa al conducir y requiere de mucha concentración por parte del conductor.

Nuevamente una de las recomendaciones ajustada a la realidad, es disminuir en lo posible la pendiente longitudinal y colocar espaldones. Sin embargo, los usuarios en este sitio en particular, podrían utilizar el espaldón para parquear el vehículo para tomar fotografías, situación que podría agravar el problema.

La reducción de la pendiente se debe llevar a cabo principalmente al final del tramo, momento en que los vehículos pesados van perdiendo potencia; así de esta manera, se contribuye a reducir el esfuerzo generado por el vehículo en tramos largos con pendiente alta.

Curvas convexas o cresta

La problemática que se presentan con las curvas convexas críticas, es la dificultad de alcanzar la distancia mínima de visibilidad y de parada ante la ejecución de frenado debido a que una persona, un vehículo, un objeto o un animal esté en la vía. El caso más crítico es cuando se presenta en el mismo sitio una curva convexa con una curva horizontal.

Las 4 curvas verticales halladas que deberían mejorarse para evitar accidentes, se ubican en las siguientes estaciones: 10+130 (C52), 15+120 (C125), 18+890 (C173) y 23+940 (C206). Ver Anexo. Aunque las curvas verticales ayudan a controlar el aumento de velocidad, se recomienda revisar la geometría de las misma, cuando se presentan en zonas urbanas o cuando la precede una curva horizontal cerrada.



7. SEGURIDAD VIAL

Consideraciones generales

En el decreto 33148-MOPT, publicado en La Gaceta 100 del día jueves 25 de mayo del 2006, se indica en el artículo 1 que: "En todas las labores de planificación y construcción de obras viales o programas de transportes y su eventual conservación, mantenimiento rutinario, mantenimiento periódico, mejoramiento, y/o rehabilitación que realiza el Consejo Nacional de Vialidad, se deberá considerar e incorporar el componente de seguridad vial, considerando a todos los posibles usuarios de la vialidad de previo a su ejecución."

Este componente de seguridad vial no debe entenderse ni limitarse a la instalación de barrera metálica (tipo flexbeam) y a la colocación de demarcación horizontal y señalización vertical; sino que debe analizarse, diseñarse e incorporarse de una manera integral, que asegure un buen nivel de seguridad para todos los usuarios de la vía.

Por ello, es necesario que la Administración incorpore el componente de seguridad vial desde las etapas de prediseño y diseño del proyecto. Al ser una ruta de montaña con pendientes fuertes (hasta de un 23%), con curvas horizontales de radios pequeños (hasta de 16 m), con un derecho de vía muy limitado (hasta de 7 m de ancho) en algunos tramos, se hace aún más necesario realizar un diseño adecuado de los elementos de seguridad vial.

La fotografía N°2 muestra una sección con un ancho de calzada muy angosto (aproximadamente 7 m), incluso para que dos vehículos en sentido contrario puedan pasar confortablemente. De igual forma se observan las condiciones de alto riesgo al lado de la vía, en donde no hay protección para los usuarios ante una eventual salida de la calzada.



Fotografía N°2. Sección angosta con un derecho de vía aproximadamente de 7 m, con ausencia de protección lateral (Entre estacionamiento 13+550 y 13+600).

Si se aumenta el ancho de la calzada mediante cortes y estabilizaciones, se mejora el alineamiento vertical y horizontal en algunos puntos críticos y se mejora la superficie de ruedo, habrá un aumento de las velocidades de operación a lo largo de dicha sección, por lo que la vía deberá reunir condiciones mínimas aceptables de seguridad para todos sus usuarios. Además, al ser una ruta de gran importancia para el turismo nacional y extranjero con un entorno natural particular, otras consideraciones adicionales deben tomarse en cuenta, como el paisajismo y la protección de la fauna de la región.

Espaldones y zonas de refugio

El Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (SIECA, 2011) indica que se deberá considerar la construcción de un espaldón externo de al menos 1,2 metros de ancho, acorde con la funcionalidad de la vía. De no ser posible debido a las limitaciones del derecho de vía y a las condiciones propias de la topografía, el manual recomienda lo siguiente:

"En aquellos casos donde por circunstancias especiales no sea posible construir los espaldones recomendados, deberá como alternativa, proveerse refugios para vehículos cada 400 metros a cada lado, provistos de sus secciones de transición tanto para el ingreso como para la salida de dichas instalaciones de emergencia."

Tras un recorrido exhaustivo de la sección de 17,4 km entre Guacimal y Santa Elena, se observó que el ancho de la calzada actual no es suficiente como para incorporar espaldones ni refugios cada 400 metros; sin embargo, se observaron tramos en donde sí es posible proveer estos refugios, al menos a uno de los dos lados de la vía.

Un ejemplo de lo anterior se presenta en el estacionamiento 7+790 (Fotografía N°3), en donde el alineamiento geométrico es favorable, así como las condiciones en los márgenes de la calzada; por lo que la vía puede ser ampliada. Por lo tanto, se recomienda evaluar la factibilidad de incorporar zonas de refugio al proyecto, tantas como sea posible, analizando varias posibilidades desde un punto de vista de beneficio-costos, y en relación con las limitaciones propias de la rasante y de la sección transversal.



Fotografía N°3. Posibilidad de ampliación de la calzada para zona de refugio (Estacionamiento 7+790).

Márgenes de la vía y los sistemas de contención vehicular

Una gran parte de los accidentes de tránsito de alta severidad (con fallecimientos y heridos graves) ocurren en los márgenes de la vía, cuando el vehículo abandona la calzada por diversos motivos. Esto ha llevado a las agencias de transporte en diferentes partes del mundo a prestarle mayor atención al diseño de los márgenes de la vía, y proteger así a los usuarios de la vía de toda clase de obstáculos presentes.

En el caso particular del tramo de estudio entre Guacimal y Santa Elena, las fuertes pendientes al lado de la calzada (topografía del terreno) es quizás el peligro más evidente que existe en al menos 9 km del total de 17,4 km de dicho tramo, aproximadamente.

Estos márgenes peligrosos deben ser protegidos adecuadamente, y al haber poca posibilidad de aumentar la zona libre de la carretera o de construir espaldones, es necesaria la instalación de sistemas de contención vehicular, para evitar que los vehículos abandonen la calzada y minimizar las consecuencias de los accidentes.

Con base en visitas a diferentes proyectos de construcción y mantenimiento de carreteras desde el año 2002 hasta la fecha, el LanammeUCR ha evidenciado que aún existen deficiencias en el tema de sistemas de contención vehicular, en cuanto a su diseño, sus longitudes, los anchos de trabajo, su instalación, el diseño de las terminales, los empalmes entre vigas, las transiciones entre sistemas, entre otros aspectos.

Con el fin de asegurar un nivel apto de seguridad vial para los usuarios, se debe elegir el sistema adecuado, según diversos criterios, tales como: Clasificación del tránsito (porcentaje de vehículos pesados), velocidad de operación esperada, condiciones ambientales, condiciones particulares del terreno y anchos de trabajo disponibles.

Se debe diseñar el nivel de contención y la deflexión del sistema apropiados para estas condiciones, considerando -además- los costos de instalación y de mantenimiento. Asimismo, por ser una ruta de gran interés turístico para el país, se recomienda considerar y valorar el componente estético y paisajístico.

En la lámina 9 de los planos del diseño que fueron facilitados, se indican los estacionamientos en donde se colocará "baranda flexbeam", con sus respectivas longitudes, tanto al margen derecho como al izquierdo, según las condiciones críticas del terreno. Además, en el sumario de cantidades se indica el renglón de pago "Guardacamino de viga galvanizada de clase B-3".

Para poder analizar el sistema escogido es necesario contar con los certificados de pruebas a escala real del sistema que se va a instalar, de tal manera que se pueda garantizar que ha sido debidamente ensayado y que cumple con sus parámetros de eficacia, tal como el nivel de

contención, la severidad del impacto, la deformación del sistema y su capacidad de re-direccionamiento. La información en los planos no evidencia que se haya llevado a cabo un diseño adecuado de los sistemas de contención vehicular.

En cuanto a la instalación del sistema, en todo momento se deberán seguir las indicaciones por parte del fabricante, con el fin de que el sistema se comporte tal como fue ensayado a escala real; es decir, que logre contener al vehículo que lo impacte, que asegure su re direccionamiento (según el ángulo de impacto), que minimice los daños a los ocupantes del vehículo y que el vehículo mantenga su estabilidad hasta que quede completamente detenido.

En cuanto a los terminales de las barreras, en los planos analizados no se brinda este detalle, lo cual es parte esencial del diseño del sistema de contención vehicular. Estos terminales no podrán ser del tipo "cola de pez", el cual se ha seguido instalando en las carreteras del país, y que lejos de brindar protección, más bien incrementa los daños a los ocupantes de los vehículos ante un choque frontal con dicha terminal, produciendo incluso la muerte cuando piezas del sistema traspasan violentamente al habitáculo de los pasajeros. En la disposición MN-06-2006 Materiales, normas, diseño y especificaciones: Barrera de Acero Tipo Viga Flexible (Flex Beam), la cual fue oficializada a través de la Directriz No. 20084382 del día 13 de noviembre del 2008, se establece que "el uso de este tipo de terminales en barreras sin sesgo o no esviadas es prohibido". En las fotografías N°4 y 5 se muestran ejemplos de accidentes en rutas de montaña de nuestro país, en donde se incrementan los daños y más bien resultan ser un alto riesgo para los usuarios.



Fotografía N°4. Accidente en la Ruta 32, el 9 de noviembre del 2011.



Fotografía N°5. Accidente en la Ruta 32, el 25 de mayo del 2012.

En cuanto al componente paisajístico y estético que se debería considerar, dado el interés turístico de esta ruta a nivel nacional, se recomienda que se valoren diferentes opciones de sistemas de contención que se ofrecen en el mercado. Por ejemplo, hay barreras combinadas metal con madera, brindando un acabado estéticamente más agradable, las cuales se integrarían visualmente de una mejor forma con el entorno de dicha ruta.

Estos sistemas deben cumplir con la misma normativa internacional y los ensayos a escala real que los otros sistemas "tradicionales", de manera que se garantice su funcionalidad, su nivel de contención y la protección a los usuarios.

Señalización vertical

Para el diseño de la señalización vertical, deberán seguirse las especificaciones del Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (SIECA, 2000). La señalización vertical es fundamental para el mejoramiento de la seguridad vial de una ruta, por lo que debe cumplir sus funciones de reglamentar las leyes del tránsito (límites de velocidad, altos, cedas, restricción de adelantamiento, etc.), prevenir a los usuarios ante diferentes peligros o riesgos en la carretera (curvas peligrosas, pendientes fuertes, zonas escolares, puentes angostos, zonas con posible neblina, etc.), e informar a los usuarios sobre rutas, destinos, lugares turísticos, etc.

En el caso de la señalización preventiva en etapa de construcción de las obras, deberá velarse en todo momento por la seguridad de todos los usuarios de la vía, así como la de los trabajadores. Se recomienda seguir los lineamientos del Capítulo 6 del Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (SIECA, 2000) y del nuevo Manual técnico de protección de obra (DGIT, 2013), y que se presente un plan de manejo de tránsito y de seguridad en el sitio de obra, debidamente avalado por la Dirección General de Ingeniería de Tránsito.

En curvas cerradas, con radios de curvatura menores a 50 m, se deberá valorar la instalación de delineadores retrorreflectivos con el fin de guiar adecuadamente a los conductores, principalmente en horas de la noche y bajo condiciones de poca visibilidad (lluvia, neblina, etc.).

Demarcación vial horizontal (Caso: Construcción total de pavimento)

Según las condiciones de la carretera, principalmente el clima, el tipo de tránsito y los volúmenes vehiculares, deberán seleccionarse los materiales de demarcación vial horizontal más adecuados, para garantizar un buen desempeño y durabilidad de la demarcación. Los materiales utilizados deberán cumplir con las especificaciones nacionales INTE 11-02-01:2012 (partes I, II y III) e INTE 11-02-02:2012 (INTECO, 2012).

Es responsabilidad de la Administración velar porque esta ruta se encuentre bien demarcada en todo momento, cumpliendo al menos con los niveles mínimos de retrorreflexión recomendados (mínimo 100 mcd/lx/m² para color amarillo o blanco). Para ello, se recomienda monitorear periódicamente el estado visual y la retrorreflexión de las marcas viales, con el fin de establecer un plan adecuado de mantenimiento.

En el caso de los captaluces, se identificó en los planos constructivos una contradicción con respecto al color de estos dispositivos en los bordes del pavimento. En la lámina 6 se indican captaluces rojos de una cara, y en la lámina 9 se indican captaluces blancos de una cara. Para el diseño e instalación de captaluces, se recomienda seguir los lineamientos de la nueva Guía para la colocación de captaluces (DGIT, 2013). De acuerdo con la clasificación de los captaluces que especifica esta guía según su funcionalidad, para esta configuración de carretera, se deberán de utilizar captaluces bicolors blanco y rojo:

"Se utiliza el captaluz una cara blanca y una cara roja en los bordes de las carreteras de dos carriles con sentidos contrarios, se colocará la cara blanca en el sentido del tránsito y la cara roja en el sentido contrario. Este captaluz se utiliza también en el carril de ascenso de una carretera con tres carriles." (DGIT, 2013)

Además, deberá verificarse el espaciamiento correcto entre captaluces, según la velocidad de la carretera y cualquier otra condición particular. Por ejemplo, si existiesen posibles zonas de derrumbe, deberán instalarse captaluces de dos caras rojas según lo especifica la guía, con su adecuado espaciamiento, y de igual forma para otras condiciones particulares, tales como intersecciones, puentes, carriles de ascenso, entre otras. (DGIT, 2013)

Facilidades para peatones y ciclistas

El Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (SIECA, 2011) plantea un enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial, partiendo de un "diseño sensible al contexto" (DSC) para los proyectos de planificación, diseño, construcción y mantenimiento de carreteras en la región. Particularmente se hace énfasis en que:

"La carretera, el vehículo, el conductor y los peatones son parte integral de un sistema de transporte seguro y eficiente".

"Los proyectistas deben reconocer las implicaciones de estos corredores de transporte compartido, y ser motivados a considerar no solo los movimientos vehiculares, sino también los de personas, distribución de mercancías y provisión de servicios esenciales."

Es por ello que se recomienda incluir dentro del proyecto condiciones aptas para peatones y ciclistas, en los casos en que se requieran. Por ejemplo, en algunos tramos se encuentran casas aledañas a la calzada (Fotografía N°6), así como zonas escolares (Fotografía N°7).



Fotografía N°6. Tramo de la carretera con Casas aledañas (Est. 10+500).



Fotografía N°7. Señal vertical anunciando Zona Escolar a 100 metros (Est. 10+650).

A partir del estacionamiento 22+100 comienza una zona urbana con mayor desarrollo a ambos lados de la vía (Fotografías N°8 y 9), incluyendo una escuela y una gasolinera, a lo largo de aproximadamente 1,5 km hacia Santa Elena.

En este tramo es importante incorporar integralmente las condiciones de seguridad para todos los usuarios, ya que se observó flujo de peatones y de ciclistas durante la visita al sitio. Por lo tanto, se recomienda elaborar en dicho sector un estudio de movilidad, para identificar las necesidades reales de facilidades para estos usuarios vulnerables, tales como aceras, ciclovías, zonas de refugio y pasos peatonales a nivel.

En la Fotografía N°8 se observa el inicio de esta zona urbana antes de llegar a la escuela. La entrada que se observa a la izquierda en la fotografía N°9 corresponde a la gasolinera, por donde camina el peatón. Se observa además la posibilidad de ampliación de la vía en ese tramo para construir facilidades adecuadas para los usuarios, tales como aceras y pasos peatonales. Principalmente en el caso de la escuela, deberá evaluarse la necesidad de colocar un paso con semáforos peatonales actuados y no de ciclo fijo.

Al ser un tramo con un trazado muy favorable (curvas horizontales y verticales suaves), es posible que aumenten las velocidades de operación de los vehículos, por lo que deberán considerarse medidas complementarias que permitan regular la velocidad de los conductores, aparte de la señalización vertical reglamentaria.



Fotografía N°8. Zona urbana aproximadamente a partir del est. 22+100.



Fotografía N°9. Zona urbana aproximadamente en el est. 23+400.

8. INTERSECCIONES

Intersección 6+750

El tramo Guacimal – Santa Elena inicia en la localidad de Guacimal, en la intersección del estacionamiento 6+750. El diseño propuesto en planos incluye la construcción de dos carriles exclusivos para giro izquierdo, cinco islas canalizadoras y dos carriles exclusivos para giro derecho en los sentidos Guacimal-Santa Elena y Sarmiento-Guacimal, para los cuales sería necesario realizar ampliación del derecho de vía existente según la línea de lindero o propiedad indicada en planos.

En la inspección visual del sitio realizada por el equipo técnico involucrado en la redacción de este informe, se identificaron zonas donde sería necesario realizar ampliaciones del derecho de vía para la construcción de los carriles adicionales en los lados norte y sureste, como se muestra en la figura N°13.

En el lado norte se observó que existe una vivienda en un terreno que se eleva hasta 6 m sobre el nivel de rasante de la carretera y a una distancia de aproximadamente 45 m desde la intersección hacia Guacimal (lado Este). En esta zona se encuentra un muro de gavión que contiene la carga de los taludes, terreno y vivienda ubicada en la parte superior, como se observa en la vista del lado Este de la figura N°13, por lo que realizar trabajos de ampliación en esta zona podría representar dificultades especiales durante la etapa constructiva que deberían ser tomados en cuenta en el diseño e incluirse en los planos y cantidades del proyecto, dado que en los documentos actuales no se observa ninguna previsión al respecto.

En el lado sureste también se observa la presencia de una vivienda en la zona en la que se propone construir el carril para giro derecho como se observa en la vista del lado sur-este en la misma figura N°13. En este caso no se observaron complicaciones constructivas especiales a tomar en cuenta, sin embargo se deberá realizar el proceso de expropiación requerido para poder realizar la ampliación prevista, de igual manera que en el lado norte de la intersección.



Figura N°13. Intersección en Guacimal, al inicio del tramo, Est 6+750.

Intersección 24+169

La intersección final del proyecto se ubica en el estacionamiento 24+169 de la Ruta Nacional No.606. El diseño definido en planos incluye tres carriles exclusivos para giro izquierdo, tres carriles exclusivos para giro derecho y cuatro islas canalizadoras. De manera similar a la intersección de inicio, se requiere la ampliación del derecho de vía en varias zonas donde existen edificaciones para la construcción de la intersección propuesta en planos, para lo cual será necesario realizar el proceso de expropiación asociado.

En el lado sureste de la intersección se requiere la sustitución de la alcantarilla existente por una que cumpla con la capacidad hidráulica requerida, con cabezales de entrada y salida que retengan el terraplén del camino y ayuden a estabilizar el talud que se observa en la vista sur este de la figura N°14.

Se considera que este talud debería ser estabilizado en una longitud de al menos 15 m hacia el lado sur-oeste por medio de la construcción de un muro de retención diseñado de acuerdo a las

condiciones del sitio. Además, se requiere la excavación de un talud de aproximadamente 6m de altura que se encuentra en el sector noreste para la construcción del carril de giro derecho previsto, sin embargo no se observan en los planos medidas de estabilización del mismo o diseño de la excavación de acuerdo a las condiciones del sitio.



Figura N°14. Intersección final, Santa Elena, Est 24+169.

En cuanto las intersecciones se recomienda a la Administración dar prioridad a estabilizar los taludes de las zonas mencionadas en este apartado, con el fin de aprovechar al máximo el ancho de calzada existente y habilitar aceras para los peatones.

Se considera que el bajo volumen vehicular que utiliza estas intersecciones no justifica invertir esfuerzos y recursos para aumentar su capacidad, sino más bien se debe dar prioridad a una adecuada señalización y a la protección de los peatones mediante la construcción de aceras.

9. TRÁNSITO VEHICULAR

Estimaciones de tránsito

Las estimaciones de tránsito consideradas en el diseño original del camino, fueron suministradas por la Dirección de Ingeniería del CONAVI, según lo indicado en el Informe Final de la empresa encargada del diseño.

El informe indica que el Tránsito Promedio Anual (TPD) para el año 2001 era de 370 vehículos con un 16.56% de tránsito pesado y una tasa de crecimiento de 5%. Adicionalmente, se incluye un aumento de 25% por el incremento de tránsito atraído durante el primer año de operación del proyecto, lo cual resulta en un TPD de 535 para el año 2004 y una proyección de Ejes Equivalentes de Carga Vehicular (ESALs) a 15 años de 629 250.

Por otro lado, los planos constructivos del proyecto (41 láminas) indican en su portada las características de la carretera, donde aparece coincidentemente un TPD de 370 vehículos para el año 2001, lo cual se proyecta con un período de diseño de 20 años, obteniendo un TPD para el año 2025 de 1 193 vehículos.

El equipo técnico involucrado en la elaboración de este informe realizó mediciones automáticas de tránsito vehicular que reflejaron datos similares a los indicados en el informe de la empresa diseñadora y los planos constructivos del proyecto (41 láminas).

10. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

El Informe Final del diseño y los planos constructivos de la carretera indican que se realizaron perforaciones cada 500 m a lo largo de la trayectoria del proyecto. Los resultados de éste se muestran en el informe y en los planos, donde se midieron los espesores de material granular existente, se caracterizaron los suelos y se midió su capacidad de soporte. Estos datos se utilizaron como base para el diseño de pavimentos junto con las estimaciones de tránsito ya mencionadas.

Según se indica en el Informe Final del diseño, se diseñaron dos estructuras de pavimento, una de 10 cm de pavimento bituminoso en caliente, 15 cm de base granular y una Subbase granular de 21 cm de espesor y otra de 6 cm de pavimento bituminoso en caliente, 20 cm de base estabilizada con cemento portland de resistencia 25 kg/cm² a los 7 días (BE-25) y una subbase granular.

La empresa diseñadora recomendó la segunda opción ya que cumple todos los requerimientos estructurales y de desempeño; además resulta la mejor opción desde el punto de vista económico, ya que según los diseñadores, permite la utilización de materiales granulares de la zona estabilizándolos con cemento portland, mientras que la primera opción, según indican los diseñadores, requiere del acarreo de materiales que cumplan especificaciones como base o subbase granular desde zonas alejadas del proyecto.

La estructura de pavimento propuesta en planos está compuesta por 6 cm de pavimento bituminoso en caliente, 20 cm de base estabilizada con cemento portland de resistencia 25 kg/cm² a los 7 días (BE-25) y una subbase granular graduación D. Según se indica en el Informe Final, esta estructura es una de las alternativas planteadas, siendo la otra de 10cm de pavimento bituminoso en caliente, 15cm de base granular y una Subbase granular de 21 cm de espesor.

El equipo técnico encargado de este estudio revisó algunas características básicas de los espesores de material granular y suelos existentes a lo largo del alineamiento de la camino actual como se muestra en la fotografía N°10. De acuerdo con tal auscultación la capa de superficie de ruedo actual es grava sin seleccionar, posiblemente extraída de fuentes locales. Los espesores encontrados variaron entre 10 y 30 cm, lo cual no difiere significativamente con lo indicado por la empresa encargada del diseño en su informe y en los planos.

Se extrajeron algunas muestras de suelo y se analizaron en el laboratorio, las cuales resultaron como suelos de tipo limoso y arenas arcillosas cuyas capacidades de soporte CBR pueden variar entre 4 y 20 dependiendo de las condiciones de humedad y compactación de cada sitio.



Fotografía N°10. Revisión de estructura de pavimento existente realizada por funcionarios del LanammeUCR.

Así las cosas, se considera que dadas las condiciones de tránsito ya mencionadas, así como las características de los materiales granulares y suelos existentes, la solución ideal y más económica a largo plazo podría ser construir la estructura de pavimento semirígida (6 cm de pavimento bituminoso en caliente, 20 cm de base estabilizada con cemento portland BE-25 y 20 cm subbase granular graduación) indicada en los planos.

Si se requiere realizar el proyecto por etapas, lo recomendable sería colocar en una primera etapa la capa de subbase con un tratamiento superficial y dejarla expuesta como superficie de ruedo granular. Lo anterior requeriría de un programa de mantenimiento periódico al menos dos veces al año para reparar el deterioro causado por la lluvia y tránsito vehicular. La segunda etapa incluiría un proceso de rehabilitación de la subbase granular, la colocación de la base estabilizada con cemento portland BE-25 y finalmente la mezcla bituminosa en caliente.

El desarrollo de la segunda etapa sería sin menoscabo de evaluar estructuralmente la condición de la capa de subbase colocada, mediante ensayos preferiblemente no destructivos, tales como el que



realiza el Deflectómetro de Impacto Ligero (Light Weight Deflectometer, LWD en inglés), con el fin de asegurarse que la rigidez de la capa sigue siendo la adecuada, o en su defecto ajustar el diseño estructural de las capas superiores.



11. MIRADORES Y PASOS DE FAUNA

Pasos de fauna.

En el diseño del trazado de una vía como esta es importante tratar de alterar lo menos posible el ecosistema por el cual la vía se está trazando. Por ello, se recomienda diseñar e integrar pasos de fauna que minimicen el impacto ambiental que una carretera conlleva.

Los pasos de fauna fueron identificados con la ayuda del señor Miguel Jiménez Salas, Administrador Zona de Protección Arenal-Monteverde, según Informe de Campo – Ofic 29-2013. Ver Anexo.

En dicho informe se indica una lista de coordenadas en la proyección CRTM05, con los puntos de paso de fauna propuestos, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla N°9. Puntos propuestos por la Zona de Protección Arenal-Monteverde.

Punto	Estación	Distrito	Coord_X	Coord_Y	Longitud	Latitud
1	7+080	Guacimal	406425	1129852	84°51'15"W	10°31'01"N
2	7+250	Guacimal	406474	1129984	84°51'13"W	10°13'05"N
3	7+500	Guacimal	406452	1130248	84°51'14"W	10°13'14"N
4	7+730	Guacimal	406435	1130417	84°51'15"W	10°13'19"N
5	8+380	Guacimal	406856	1130680	84°51'01"W	10°13'28"N
6	9+370	Guacimal	406703	1131103	84°51'06"W	10°13'42"N
7	10+480	Guacimal	406517	1131898	84°51'12"W	10°14'07"N
8	11+660	Guacimal	406823	1132309	84°51'01"W	10°14'21"N
9	11+890	Guacimal	406953	1132461	84°50'58"W	10°14'26"N
10	12+520	Guacimal	407363	1132976	84°50'44"W	10°14'42"N
11	13+100	Guacimal	407766	1133077	84°50'31"W	10°14'46"N
12	14+880	Guacimal-Monteverde	407794	1134470	84°50'30"W	10°15'31"N
13	15+515	Monteverde	408485	1135341	84°50'23"W	10°15'46"N
14	16+730	Monteverde	408521	1138934	84°50'08"W	10°15'59"N
15	17+960	Monteverde	408022	1134924	84°50'28"W	10°16'29"N
16	19+280	Monteverde	407847	1136240	84°50'21"W	10°16'57"N
17	21+220	Monteverde	408077	1137120	84°50'00"W	10°17'44"N
18	21+680	Monteverde	409082	1139908	84°50'07"W	10°17'56"N
19	23+080	Monteverde	408714	1138536	84°49'48"W	10°18'28"N

Estos puntos representan la conectividad natural dentro de los ecosistemas de las especies nativas y migratorias de la zona. Por lo que el trazo de la carretera por estos sitios debe estar regulado con señalización de precaución, tanto para el bienestar de la fauna como para la seguridad misma del usuario. La siguiente figura muestra la localización de los pasos de fauna propuestos.

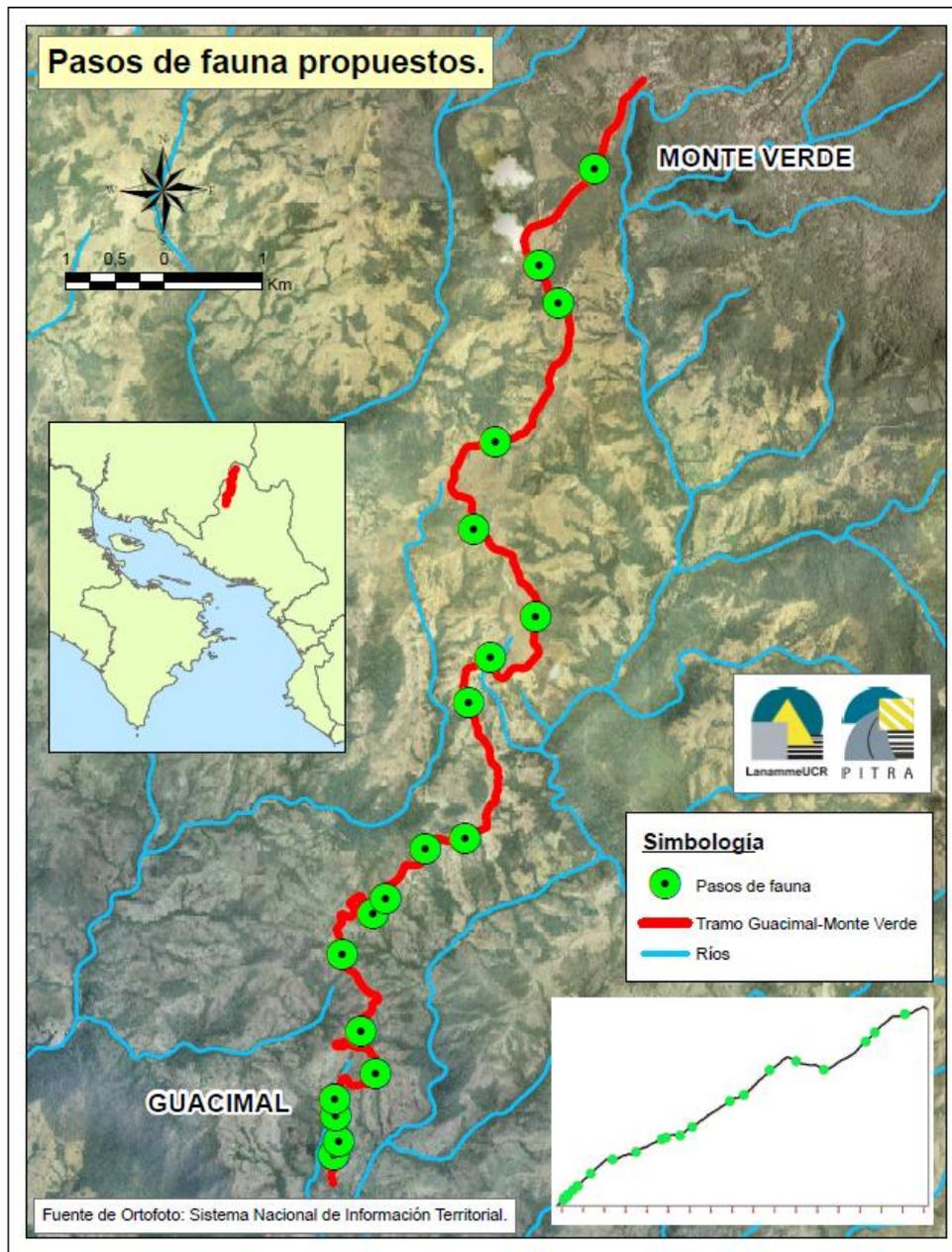


Figura N°15. Pasos de Fauna propuestos por la Zona de Protección Arenal-Monteverde para el tramo Guacimal-Monteverde.

Se recomienda implementar rotulación preventiva tal como, “Velocidad máxima 35 km/h, está pasando por Corredor Biológico, gracias”, en acuerdo a la Ley Forestal, artículos 19 y 35, y Reglamento a la Ley Forestal, Decreto Ejecutivo No. 25721-MINAE.

Los pasos de fauna pueden ser aéreos o terrestres y deben estar acompañados de señalización y reductores de velocidad. En la siguiente figura se presenta un ejemplo de un paso de fauna.

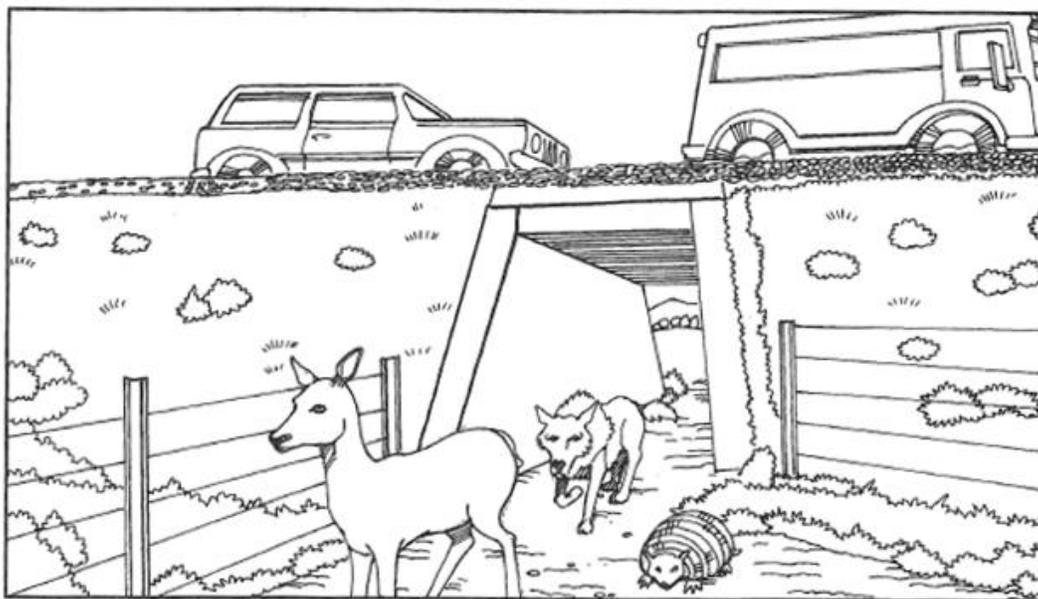


Figura N°16. Los pasos inferiores permiten a los animales cruzar con seguridad y minimizar los atropellamientos en el camino. Fuente: Ingeniería de Caminos Rurales. Keller y Sherar. Enero, 2008.

Miradores

Se identificaron algunos puntos que reúnen ciertas características para ser propuestos como miradores. Entre las características que se analizaron están: Área adecuada para el estacionamiento de por lo menos tres vehículos o más, topografía que permitiera una vista panorámica y que no significara un lugar de condiciones peligrosas para este fin. La localización de estos puntos se muestra en la figura N°17 y las coordenadas específicas en la tabla N°10.

Sin embargo, se debe puntualizar que estos sitios deben contar con un diseño adecuado de acceso, estacionamientos, estabilidad estructural de los cimientos, servicios públicos, entro otros.

Es necesario que los puntos propuestos para los miradores sean objeto de estudios específicos, para que su acceso no afecte la seguridad y el funcionamiento de la vía.

Tabla N°10. Coordenadas de los sitios propuestos para miradores en la Ruta 606.

Punto	Estación	Lado	Comentario	Coord_X	Coord_Y	Longitud	Latitud
1	9+025	Izquierdo	Vista al oeste, al golfo de Nicoya	406430	1130952	84°51'15"W	10°13'37"N
2	12+200	Izquierdo	Vista de 360°	407047	1132737	84°50'55"W	10°14'35"N
3	13+400	Derecho	Vista hacia el este. Terreno muy quebrado	407997	1133182	84°50'24"W	10°14'49"N
4	14+325	Izquierdo	Vista hacia el este	407965	1133937	84°50'25"W	10°15'14"N
5	15+100	Izquierdo	Vista hacia el oeste	407730	1134715	84°50'33"W	10°15'39"N
6	16+300	Izquierdo	Vista hacia el este	408488	1134979	84°50'07"W	10°15'48"N
7	17+350	Derecho	Vista hacia el este	408230	1135872	84°50'16"W	10°16'17"N
8	20+300	Derecho	Vista hacia el oeste	408728	1137755	84°50'00"W	10°17'18"N

La ruta a Monteverde es una vía que contiene una gran belleza escénica, por lo cual se recomienda que los miradores sean un elemento integral en el diseño de la carretera. Es probable que dichos elementos no hayan sido incorporados en el cálculo del costo de la obra, sin embargo, se recomienda realizar contactos formales con los vecinos de la zona para determinar su anuencia a incorporarlos e incluso su participación en un eventual financiamiento parcial o total de la construcción de los miradores.

La construcción de una carretera definitivamente no puede abstraerse de las necesidades y aspiraciones de una comunidad a buscar la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos, su propia competitividad como región y la contribución de estos aspectos en la prosecución de su felicidad.

Así las cosas, los ciudadanos que habitan entre Guacimal y Santa Elena, como contribuyentes, tienen el derecho de participar en la concepción y adecuación del proyecto vial que va a afectar y determinar precisamente su calidad de vida, su mayor inserción en el contexto nacional y el incremento de su actividad productiva.

De esta forma, se recomienda para la concepción futura de proyectos similares a este, se incluya un intenso diagnóstico de las necesidades y expectativas de los habitantes a los cuales les dará servicio la vía, respecto de la construcción de esta. Esto porque la Administración y sus ejecutores de obra no deben olvidar que no se está dando un “regalo” a la región donde se construirá la carretera, sino que están creando un proyecto en donde los conceptos de servicio al ciudadano, alta calidad del diseño y construcción, rigurosa fiscalización y concepción de la obra, buscarán impactar de manera positiva la vida de los contribuyentes del lugar. De ahí, que la interacción entre funcionarios del gobierno (MOPT – CONAVI) que participan en todas las etapas del proyecto, y los habitantes de la región, será clave en el éxito integral de la obra vial.

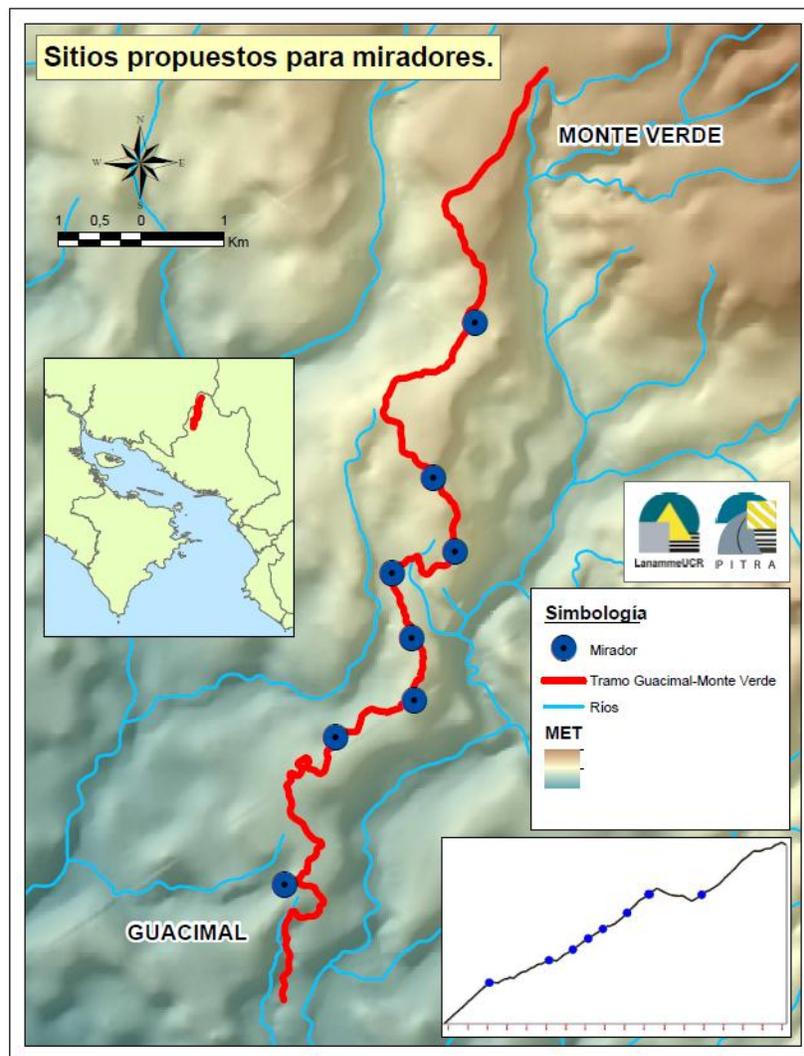


Figura N°17. Sitios de Miradores propuestos en la Ruta 606. Tramo Guacimal-Monteverde.

12. RECOMENDACIÓN DE INTERVENCIÓN

Para la intervención del tramo Guacimal – Santa Elena de la Ruta N°606, este equipo técnico recomienda se de prioridad a la revisión del diseño y la construcción de las siguientes obras:

- Aumentar el ancho de la vía mediante la realización de cortes en los taludes, obras de estabilización y obras de protección superficial en los taludes. Tomando en cuenta las condiciones particulares de la vía, la sinuosidad del terreno y el objetivo primordial de mejorar la seguridad de los usuarios, se recomienda ampliar la vía para contar con dos carriles de 3,30 m de ancho cada uno, más el ancho necesario para la construcción de las obras hidráulicas requeridas en cada sección. Ver en la sección 5 el detalle de las recomendaciones. Si en algunos casos muy específicos las condiciones técnicas adversas o el alto costo económico de las soluciones impiden lograr una sección suficientemente ancha para tener carriles de 3,30 m, deberá exigirse como mínimo la construcción de una sección con 2 carriles de 3,00 m de ancho.
- Mejorar el alineamiento horizontal y vertical de la carretera. Dando énfasis a la construcción de sobre anchos para las curvas identificadas como críticas, según se indica en la sección 6.
- Construir los sistemas para la captación, conducción y descarga del agua de lluvia, tanto en los taludes que así lo requieran como a lo largo de la vía, esto incluye la construcción de cunetas, contracunetas, subdrenajes, alcantarillas, tomas, cabezales, etc. Ver la sección 5 sobre este particular.
- Colocación de sistemas de contención vehicular acordes con las condiciones topográficas y la geometría de la carretera. En la sección 7 de este informe se trata detalladamente este tema.
- Señalización requerida para las condiciones particulares de esta ruta, las cuales se detallan en la sección 7.
- Se recomienda en todo momento procurar una superficie de ruedo cómoda, segura y estable, independientemente de si los trabajos de mejoramiento se realizan en una sola o en dos etapas.

13. CONCLUSIONES

Conclusión General

Al realizar un análisis comparativo entre la condición actual del tramo Guacimal – Santa Elena, de la ruta N°606 y las obras consideradas en los carteles N°038-2001 y N°2011LN-000029-0DI00, se evidencian una serie de oportunidades de mejora para elevar el nivel de servicio de la carretera y la seguridad de los usuarios.

Los trabajos propuestos en las licitaciones antes mencionadas pueden ser optimizados mediante la implementación de las recomendaciones descritas a lo largo de este informe, principalmente en las áreas de diseño geométrico, geotecnia, seguridad vial, medidas para facilitar el paso de vida silvestre y la inclusión de miradores que potencian la actividad turística de la zona.

La construcción de una carretera definitivamente no puede abstraerse de las necesidades y aspiraciones de una comunidad a buscar la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos, su propia competitividad como región y la contribución de estos aspectos en la prosecución de su felicidad.

Así las cosas, los ciudadanos que habitan entre Guacimal y Santa Elena, como contribuyentes, tienen el derecho de participar en la concepción y adecuación del proyecto vial que va a afectar y determinar precisamente su calidad de vida, su mayor inserción en el contexto nacional y el incremento de su actividad productiva.

De esta forma, se recomienda para la concepción futura de proyectos similares a este, se incluya un intenso diagnóstico de las necesidades y expectativas de los habitantes a los cuales les dará servicio la vía, respecto de la construcción de esta. Esto porque la Administración y sus ejecutores de obra no deben olvidar que no se está dando un “regalo” a la región donde se construirá la carretera, sino que están creando un proyecto en donde los conceptos de servicio al ciudadano, alta calidad del diseño y construcción, rigurosa fiscalización y concepción de la obra, buscarán impactar de manera positiva la vida de los contribuyentes del lugar. De ahí, que la interacción entre funcionarios del gobierno (MOPT – CONAVI) que participan en todas las etapas del proyecto, y los habitantes de la región, será clave en el éxito integral de la obra vial.

Conclusiones Específicas

Sobre la Geología

- Generalmente las zonas más propensas a presentar deslizamientos están constituidas por rocas muy meteorizadas, alteradas hidrotermalmente, y en zonas de pendiente moderada y alta. Este tipo de eventos pueden ser disparados por exceso de lluvia o por sismos. La zona reúne las condiciones para tener ambos tipos de disparadores, por lo tanto esta amenaza debe ser tomada en cuenta en las intervenciones que se realicen en los taludes.
- Según lo observado en este análisis, hay zonas que reúnen estas características (T3, T4, T5 y T7), cerca del tramo T8 ya se han presentado deslizamientos, mientras el tramo T9 presenta suelos muy alterados, pero pendientes bajas.
- La estabilidad de los taludes de las canteras clandestinas localizadas cerca de la ruta pueden generar deslizamientos que afecten la carretera.

Sobre la Geotecnia

- La topografía de la zona, los suelos presentes y el trazado actual de la carretera generan una serie de condiciones, las cuales desde la perspectiva de la geotecnia requieren especial atención.
- En la documentación estudiada no se hallaron los estudios geológicos ni geotécnicos, requeridos para una adecuada caracterización de los suelos que conforman los taludes del proyecto.
- Existen tramos en la carretera que presentan taludes con alta pendiente y suelos que hacen necesario considerar estudios geotécnicos específicos para evaluar su condición.
- En el cartel de licitación y las láminas estudiadas no se encontraron referencias sobre el diseño de obras de protección como sistemas de control de erosión, siembra de vegetación, obras para el manejo del agua de escorrentía, etc. para los taludes de la carretera.
- La protección superficial de taludes es un componente integral de las obras de una carretera, debe estar considerada desde el inicio y debe realizarse inmediatamente después del movimiento de tierras.

- La zona donde se ubica la carretera es altamente lluviosa y tiene una topografía montañosa con altas pendientes, esto convierte el sistema de drenaje en un elemento fundamental de la carretera para garantizar la seguridad vial y evitar el deterioro prematuro por exceso de humedad en la estructura de pavimento y superficie de ruedo (granular o asfáltica).

Sobre el diseño geométrico

- Proyectar el mejoramiento de los accesos por las rutas 605 y 145, lo que permitiría integrar el turismo y la economía de la zona norte con la carretera.
- Conocer la topografía general de la zona permite analizar si existen otras alternativas de trazado que mejoren el trazado actual.
- En el diseño propuesto para la ruta existen 63 curvas con un radio menor de 30 m, las cuales pueden generar problemas de seguridad vial a los usuarios.
- El diseño geométrico puede ser mejorado mediante la construcción de curvas de transición y sobre anchos que mejoren el confort en las curvas horizontales y la continuidad visual del trazado.
- La belleza escénica de la ruta amerita el estudio para el diseño y construcción de miradores que permitan disfrutar del paisaje y diversos servicios de manera segura.

Sobre la seguridad vial

- En todo proyecto de construcción, mejoramiento y mantenimiento de carreteras en el país deberá incorporarse el componente de seguridad vial, tal como se decretó en mayo de 2006 mediante el decreto 33148-MOPT, de tal manera que la seguridad vial se atienda desde una perspectiva integral, considerando a todos los usuarios de la vía.
- En una ruta con condiciones topográficas poco favorables y con un derecho de vía muy angosto, debe considerarse en el nuevo diseño el riesgo asociado a dichas condiciones, de tal manera que se pueda garantizar un nivel mínimo aceptable de seguridad para todos los usuarios de la ruta. De mejorarse la superficie de ruedo, las velocidades de circulación de los vehículos aumentarán, por lo que será mayor la probabilidad de ocurrencia de accidentes de tránsito.
- De no ser posible la construcción de espaldones con el ancho recomendado por el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (SIECA, 2011), deberán proveerse refugios para vehículos en zonas donde el derecho de vía lo permita.

- Los sistemas de contención vehicular deben ser diseñados e instalados adecuadamente, según las características particulares de la ruta en cuanto a clasificación del tránsito, velocidad de operación esperada, condiciones ambientales, y condiciones particulares del terreno y del derecho de vía disponible. Los sistemas de contención vehicular deberán contar con el nivel de contención adecuado para dichas condiciones, así como el espacio necesario para la deflexión del sistema en caso de un choque. La terminal tipo "cola de pez" no es permitida debido al riesgo que implica para los ocupantes de un vehículo ante un choque frontal con dicha terminal. Por lo tanto, las terminales deberán diseñarse adecuadamente, así como las transiciones entre sistemas con diferente nivel de rigidez.
- En cuanto a la señalización preventiva en zonas de trabajo, se deberán seguir los lineamientos del Capítulo 6 del Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (SIECA, 2000) y del nuevo Manual técnico de protección de obra (DGIT, 2013), y se deberá presentar un plan de manejo de tránsito y de seguridad en el sitio de obra.
- Deberán seleccionarse los materiales de demarcación vial horizontal más adecuados, para garantizar un buen desempeño y durabilidad de la demarcación, cumpliendo con niveles mínimos de retrorreflexión en todo momento. En el caso de los captaluces, se recomienda seguir los lineamientos de la nueva Guía para la colocación de captaluces (DGIT, 2013).
- En el caso de los peatones y ciclistas, se recomienda incluir dentro del proyecto facilidades para estos usuarios en aquellos sitios donde se requieran, a partir de un estudio de movilidad que permita identificar las necesidades reales, entre ellas: aceras, ciclovías, zonas de refugio, pasos peatonales a nivel, etc.

Sobre las intersecciones

- El bajo volumen vehicular que utiliza las intersecciones al inicio y al final del tramo estudiado, no justifica invertir esfuerzos y recursos para aumentar su capacidad, sino más bien se debe dar prioridad a una adecuada señalización y a la protección de los peatones mediante la construcción de aceras.

Sobre el tránsito

- El LanammeUCR realizó mediciones de tránsito vehicular automáticas que reflejaron datos similares a los indicados en el informe de la empresa responsable del diseño de la vía y los planos constructivos del proyecto (41 láminas).
- De acuerdo a las características de la Ruta Nacional No. 606 en el tramo Guacimal – Santa Elena, esta se puede clasificar como un camino **Colector Menor Rural (CR)** según lo indicado en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (SIECA 2011).



14. BIBLIOGRAFÍA

1. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2001). Geometric Design of Very Low-Volume Local Roads (ADT \leq 400). 444 North Capitol Street, NW, Suite 249. Washington DC. Estados Unidos de América.
2. Baesso, Dalcio Pickler; Gonçalves, Francisco de Assis (2003). Caminos rurales: técnicas adecuadas de mantenimiento. Florianópolis: DER.
3. Costa Rica. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (1966). Normas y Diseños para la construcción de carreteras, San José.
4. Garber Nicholas J. y Hoel Lester A. Ingeniería de Tránsito y de carreteras (2006), 3a. ed. México DF: Digital Oriente S.A.
5. IMNSA Ingenieros Consultores S.A. (2003) Informe Final, Proyecto de Mejoramiento de la Ruta Nacional No. 606 Sección: Los Ángeles-Santa Elena (Tramo Guacimal-Santa Elena), Licitación por Registro No. 038-2001. San José, Costa Rica.
6. Keller Gordon y Sherar James (2005). Ingeniería de Caminos Rurales: Guía de Campo para las Mejores Prácticas de Gestión de Caminos Rurales. US Agency for International Development (USAID). Instituto Mexicano del Transporte. México.
7. IMNSA Ingenieros Consultores S.A. (2003) Planos del Proyecto Mejoramiento de la Ruta Nacional No. 606, Sección: Los Ángeles-Santa Elena (Tramo Guacimal-Santa Elena)- Construcción Total de Pavimento y Sistema de Drenajes (41 Láminas). República de Costa Rica, MOPT, CONAVI. San José, Costa Rica.
8. Secretaría de Integración Económica Centro Americana (SIECA) (2011). Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, 2a. ed. Guatemala.
9. Secretaría de Integración Económica Centro Americana (SIECA) (2011). Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, 3a. ed.
10. Secretaría de Integración Económica Centro Americana (SIECA) (2000) Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito. 1ª edición. Ciudad de Guatemala, Guatemala.
11. DGIT-MOPT (2013) Guía para la colocación de captaluces. Dirección General de Ingeniería de Tránsito. Versión en digital, no oficial. San José, Costa Rica.
12. DGIT-MOPT (2013) Manual técnico de protección de obra. Dirección General de Ingeniería de Tránsito. Versión en digital, no oficial. San José, Costa Rica.

13. MOPT (2006) Decreto 33148-MOPT. La Gaceta 100 del jueves 25 de mayo del 2006. San José, Costa Rica.
14. MOPT (2006) Disposición MN-06-2006: Barrera de acero tipo viga flexible (flex beam). San José, Costa Rica.
15. Suárez, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Editorial Ingeniería de Suelos Ltda. Bucaramanga, Colombia.
16. Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2010). Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-2010). San José, Costa Rica.
17. U.S. Department of Transportation (2003). Checklist and Guidelines for review of Geotechnical Reports and Preliminary Plans and Specifications. Federal Highway Administration. Estados Unidos de América.
18. U.S. Department of Transportation (2011). Project Development and Design Manual. Federal Lands Highway. Estados Unidos de América.
19. Suárez, J. (2009) Deslizamientos Técnicas de Remediación. Tomo II. Editorial Universidad Industrial de Santander. Colombia.
20. Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. Código Sísmico de Costa Rica 2010. 4ª ed. Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2011. Cartago, Costa Rica.
21. Asociación Costarricense de Geotecnia. Código de Cimentaciones de Costa Rica. 2da ed. Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2009. Cartago, Costa Rica.
22. Selby, M. (1993) Hillslope Materials and Proceses. 2da ed. Oxford University Press. New York, Estados Unidos de América.
23. Abramson, L. [et al.] (1996) Slope Stability and Stabilization Methods. John Wiley & Sons, Inc., Estados Unidos de América.
24. Denyer, P. & Alvarado G. E. (2007) Mapa Geológico de Costa Rica 1:400 000, Universidad de Costa Rica.
25. Zacek V., Cech, S., Dudik, B., Schulmannova., Vorel, T., Kycl ,P., Huapaya, S., (2010) Mapa 1 : 50 000, hoja 3246-IV Juntas, Republica de Costa Rica. – Serv. Geol, Praha ISBN 978-80-7075-745-1.
26. Keller, G y Shear, J. (2008) Ingeniería de Caminos Rurales. Instituto Mexicano de Transporte.
27. SIECA-CEPREDENAC. (2011) Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geometrico de carreteras. 3ra ed.

15. LISTA DE ANEXOS

Lista de documentos anexados en formato digital, contenidos en el disco compacto “**ANEXOS INFORME DE COLABORACIÓN TÉCNICA, LM-PI-UGERVN-009-2013. RUTA NACIONAL No. 606, SECCIÓN GUACIMAL – SANTA ELENA**”

Anexo	Documento	Formato	Contenido
1	FORMULARIO Est 9+109 C35	PDF	Observaciones y recomendaciones sobre la condición de los taludes y el alineamiento horizontal del proyecto.
	FORMULARIO Est 9+800 C49-50	PDF	
	FORMULARIO Est 10+700 Est 11+600	PDF	
	FORMULARIO Est 13+256 C118-119	PDF	
	FORMULARIO Est 13+418 C122	PDF	
	FORMULARIO Est 13+722 C130	PDF	
	FORMULARIO Est 15+545 C166	PDF	
	FORMULARIO Est 19+284 C241	PDF	
	FORMULARIO Est 19+754 C252	PDF	
2	FORMULARIO Est 21+052 C280	PDF	Observaciones y recomendaciones sobre la condición de los taludes y el alineamiento vertical del proyecto.
	FORMULARIO Est 10+130 C52	PDF	
	FORMULARIO Est 15+120 C125	PDF	
	FORMULARIO Est 18+890 C173	PDF	
3	FORMULARIO Est 23+940 C206	PDF	Localización y descripción general de los sitios propuestos para la implementación de miradores.
	MP 01-02	PDF	
	MP 03-04	PDF	
	MP 05-06	PDF	
4	MP 07-08	PDF	Informe de campo. Sistema Nacional de Áreas de Conservación. Pasos de fauna.
	Informe Campo-Ofic 29-2013	PDF	
5	FORMULARIO LCP Est 7+690-Est 7+920	PDF	Observaciones generales sobre los puntos con pendientes máximas.
	FORMULARIO LCP Est 21+210-Est 21+570	PDF	
	FORMULARIO PM Est 16+170-Est 16+650	PDF	
	FORMULARIO PM Est 17+285-Est 17+290	PDF	