



**LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES**



**programa de infraestructura
del transporte**

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-AT-051-13

**EVALUACIÓN DE LOS ESTUDIOS
PRELIMINARES Y DISEÑOS PARA EL
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA
RUTA NACIONAL NO.4 SECCIÓN: BAJOS
DE CHILAMATE – VUELTA DE KOOPER”.
LICITACIÓN PÚBLICA INTERNACIONAL
N° 2011LI-000037-32702**

INFORME FINAL

Preparado por:
Unidad de Auditoría Técnica

San José, Costa Rica
JUNIO 2014

1. Informe Informe Final de Auditoría Técnica LM-PI-AT-051-13	2. Copia No. 1	
3. Título y subtítulo: "EVALUACIÓN DE ESTUDIOS PRELIMINARES Y DISEÑOS PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA RUTA NACIONAL NO.4 SECCIÓN: BAJOS DE CHILAMATE – VUELTA DE KOOPER"	4. Fecha del Informe Junio 2014	
7. 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		
8. Notas complementarias <p style="text-align: center;">---**---</p>		
9. Resumen <p>El objetivo general es realizar una evaluación de los estudios técnicos y diseños previos con los que cuenta el proyecto Chilamate-Vuelta de Kooper, los cuales permiten determinar la idoneidad de la información base disponible, desde la etapa de pre inversión hasta la etapa de construcción. Por lo cual se revisó el diseño geométrico, aspectos relacionados con el trazado y las condiciones de seguridad vial; así como aspectos básicos del diseño estructural del pavimento del proyecto e información que los sustenta.</p> <p>Para ello se contó con la participación y criterio experto de la Unidad de Seguridad Vial y Transportes PITRA-LanammeUCR, la cual aportó los informes LM-PI-USVT-002-14 y LM-PI-USVT-003-14 los cuales sirvieron de respaldo para la redacción del presente informe.</p> <p>A continuación se resumen los principales hallazgos y observaciones del informe:</p> <p>Estudios preliminares Para el diseño vial de proyectos no existe claridad en la política a lo interno de la Administración MOPT-CONAVI, en cuanto al responsable de generar, suministrar y actualizar la información de estudios y proyecciones de tránsito para el diseño geométrico y estructural del pavimento de un proyecto vial. Se han detectado debilidades en relación con la etapa de diseño y estudios preliminares de proyectos viales, tales como: actualización de los datos de tránsito ó escasez de estudios preliminares.</p> <p>Análisis estructural del pavimento Realizando una actualización del tránsito (TPD), la estructura de pavimento diseñada para colocar en el proyecto en cuestión no cumple con el número estructural requerido según la metodología de diseño AASHTO-93 ni con criterios de deformación permanente, ya que se espera que el pavimento fallará por ahuellamiento antes de que termine su vida útil esperada (periodo de diseño de 12 años).</p> <p>Evaluación del diseño geométrico En general, a lo largo del proyecto en estudio, el diseño geométrico mostró una inconsistencia "aceptable" con respecto a la expectativa del conductor, solo en un caso se obtuvo un tramo de consistencia local "pobre". El diseño geométrico de la vía se considera aceptable de acuerdo con la verificación del cumplimiento de la normativa de diseño vigente, realizada por la Unidad de Seguridad Vial y Transportes del PITRA-LanammeUCR.. El principal incumplimiento hallado está asociado con la distancia de visibilidad disponible y la requerida, dado que se determinaron varios tramos con limitaciones en este parámetro que podrían afectar negativamente el nivel de seguridad del proyecto.</p>		
10. Palabras clave Estudios preliminares, diseño geométrico, diseño estructural, pavimento, TPD	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 47

INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA

"Evaluación de estudios preliminares y diseños para el proyecto de Construcción de la Ruta Nacional No.4 Sección: Bajos de Chilamate – Vuelta de Kooper. Licitación Pública Internacional #2011LI-000037-32702".

Departamento encargado del proyecto: División de Obras Públicas, MOPT a través de la Unidad Ejecutora de Chilamate-Vuelta de Kooper

Empresa responsable del Diseño: CACISA

Empresa responsable de la Supervisión: Vieto S.A.

Empresa contratista responsable de la Construcción: Sánchez Carvajal

Monto original del contrato: ₡25.318.843.141,59

Plazo original de ejecución: 24 meses

Longitud del proyecto: 27,09 km

Coordinador General de Programa de Infraestructura de Transporte, PITRA:

Ing. Luís Guillermo Loría Salazar, PhD.

Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica PITRA-LanammeUCR:

Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc.

Audidores:

Ing. Raquel Arriola Guzmán

Ing. Ana Elena Hidalgo Arroyo

Expertos técnicos:

Ing. Erick Acosta Hernández, Área Seguridad Vial y Transporte, PITRA

Asesor Legal :

Lic. Miguel Chacón Alvarado

Alcance del informe:

A partir de la revisión del expediente de proyecto, en cuanto a estudios preliminares, se revisó específicamente el diseño geométrico del proyecto. Adicionalmente se realizó una revisión y análisis estructural de la estructura del pavimento considerando una actualización del tránsito basado en la colocación de contadores vehiculares en punto claves de la rutas aledañas.

Ubicación de la ruta auditada:

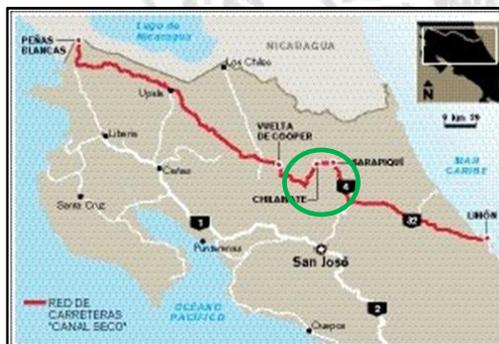


TABLA DE CONTENIDOS

1. Fundamentación.....	5
2. Objetivo y alcance de la auditoría técnica	5
Objetivo general del informe de auditoría técnica	6
Objetivo específico del informe de auditoría técnica	6
3. Metodología del estudio	6
4. Antecedentes	7
5. Descripción del proyecto	10
6. Responsables del proyecto	12
7. Integrantes del equipo de auditoría técnica del lanammeucr	13
7.1 Hallazgos y observaciones de la auditoría técnica externa.....	13
8. Conclusiones.....	42
9. Recomendaciones.....	43
Anexo 1	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 2	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sección típica eje principal del proyecto.....	11
Tabla 2. Análisis de desempeño por fatiga.....	26
Tabla 3. Análisis de desempeño por deformación permanente.	27
Tabla 4. Curvas horizontales de menor radio.....	31
Tabla 5. Curvas verticales que exceden la pendiente máxima	33
Tabla 6. Combinación de curvas horizontales y verticales con riesgo de visibilidad limitada	34
Tabla 7 Tramos con incumplimientos de distancia de visibilidad disponible, sentido creciente.	35
Tabla 8 Tramos con incumplimientos de distancia de visibilidad disponible, sentido decreciente.....	35
Tabla 9 Tramos con incumplimientos en el valor de la curvatura vertical "K"	36
Tabla 10. Criterios de consistencia del diseño geométrico.	37

INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA

ESTUDIO SOBRE LA "EVALUACIÓN DE ESTUDIOS PRELIMINARES Y DISEÑOS PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA RUTA NACIONAL NO.4 SECCIÓN: BAJOS DE CHILAMATE – VUELTA DE KOOPER"

1. FUNDAMENTACIÓN

La auditoría técnica externa a proyectos en ejecución para el sector vial, se realiza de conformidad con las disposiciones del artículo 6 de la Ley N°8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias y su reforma mediante la Ley N°8603, dentro del Programa de Fiscalización de la Calidad de la Red Vial del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) de la Universidad de Costa Rica (UCR).

Asimismo, el proceso de auditoría técnica se fundamenta en el pronunciamiento C-087-2002 del 4 de abril del 2002, de la Procuraduría General de la República, que indica:

"...la fiscalización que realiza la Universidad a través del Laboratorio es una fiscalización externa, que trasciende los contratos de mérito, y por ende, obras específicas, para abarcar la totalidad de la red nacional pavimentada (por ende, proyectos ya finiquitados) y que incluso podría considerarse "superior", en el sentido en que debe fiscalizar también los laboratorios que realizan análisis de calidad, auditar proyectos en ejecución, entre otros aspectos, evaluar la capacidad estructural y determinar los problemas de vulnerabilidad y riesgos de esa red. Lo cual implica una fiscalización a quienes podrían estar fiscalizando proyectos concretos." (El subrayado no es del texto original)

2. OBJETIVO Y ALCANCE DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

El objetivo de esta auditoría técnica al proyecto Bajos de Chilamate-Vuelta de Kooper, es dar a conocer a la Administración, desde el punto de vista externo y constructivo, aspectos relacionados con los estudios técnicos preliminares con los que cuenta este proyecto a nivel geométrico y una revisión y análisis del paquete estructural que requieran la aplicación de acciones correctivas y preventivas.

Se procura que este informe sea una herramienta que le permita a la Administración evaluar las condiciones en que se ha venido desarrollando la temática sobre la suficiencia de

estudios técnicos preliminares en la fase de diseño, de manera que pueda contribuir a la toma de decisiones sobre aspectos que se deben considerar tanto en este proyecto, como en futuras obras viales para que se logren ejecutar de una manera eficiente, minimizando la posibilidad de atrasos en los plazos de entrega del proyecto, gastos adicionales que se presenten por aspectos previsibles y buscando siempre la calidad requerida y esperada en las obras de acuerdo con las especificaciones establecidas y que justifiquen la inversión realizada.

El alcance del presente estudio se centró en la revisión de los diseños geométrico y estructural del pavimento.

Objetivo General del Informe de Auditoría Técnica

El objetivo general del presente informe de Auditoría Técnica es realizar una evaluación de los estudios técnicos y diseños previos con los que cuenta el proyecto Chilamate-Vuelta de Kooper, los cuales permiten determinar si la información base disponible es suficiente y completa, desde la etapa de pre inversión hasta la etapa de construcción.

Objetivo Específico del Informe de Auditoría Técnica

Revisar detalladamente el diseño geométrico, aspectos relacionados con el trazado y las condiciones de seguridad vial; así como realizar una revisión de aspectos básicos del diseño estructural del pavimento del proyecto e información que los sustenta.

3. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

Este informe de Auditoría Técnica se efectuó siguiendo los procedimientos de auditoría técnica, mediante la revisión documental de los estudios preliminares proporcionados, entrevistas y visitas técnicas al sitio.

Adicionalmente, el presente informe tiene como soporte el informe técnico **LM-PI-USVT-002-14**: "Revisión de La Estimación Del Tránsito Promedio Diario Proyecto "Construcción de la Ruta Nacional No. 4, Bajos de Chilamate-Vuelta de Kooper. Licitación Pública No. 2011LI-000037-32702", y el informe técnico **LM-PI-USVT-003-14**: "Evaluación de Seguridad Vial Construcción de la Ruta Nacional No. 4, Bajos de Chilamate-Vuelta de Kooper, Licitación Pública No. 2011 LI-000037-32702 (Etapa pre-construcción)".

Y el aporte técnico del ingeniero Ing. Erick Acosta (Unidad de Seguridad Vial y Transportes) con le cual se refuerza los criterios técnicos emitidos en el presente informe.

4. ANTECEDENTES

Producto de los informes de auditoría técnica realizados al CONAVI en algunos proyectos que tienen a cargo tanto la Gerencia de Construcción como la Gerencia de Conservación Vial, se han detectado debilidades importantes en relación con las actividades previas a la etapa de construcción, dentro de las cuales se pueden citar la contratación de proyectos con diseños desactualizados, falta de verificación de las condiciones reales del sitio donde se desarrollará el proyecto, escasez o deficiencias en estudios preliminares; todo lo cual incide de alguna manera en el desarrollo de la etapa constructiva, provocando que durante la ejecución de esta etapa se deban corregir errores y omisiones.

Principalmente por este motivo, a través de esta auditoría se busca realizar dicha revisión en un proyecto vial importante por formar parte del Proyecto Mesoamérica y que será administrado por la División de Obras Públicas del MOPT, a través de una unidad ejecutora y cuyo financiamiento es con fondos de la Corporación Andina de Fomento, Ley N°8844.

Asimismo, se busca realizar un estudio de los informes preliminares realizados en el proyectos, específicamente en el área diseño geométrico y estructural del pavimento, con el objetivo de identificar oportunidades de mejora tanto en los diseños como en estudios técnicos de los proyectos viales que posteriormente estarán a cargo de la Administración.

A manera de antecedente es importante mencionar que el 11 de diciembre de 2013 se recibe el oficio DI-444-2013 de parte de la División de Obras Públicas, Dirección de Ingeniería, dirigido al Ing. Alejandro Navas Carro, director del LanammeUCR donde a solicitud de la Ing. María del Carmen Gallardo Mejía, Gerente de la Unidad Ejecutora del Proyecto Bajos de Chilamate-Vuelta de Kopper en el oficio UBCK-748-2013, solicita para efectos del citado proyecto, resultados de la auditoría que realiza LanammeUCR e interpretación de lo establecido en la Sub sección 110.06 del Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010.

El 13 de febrero de 2014, se envía por parte del director del LanammeUCR, el Ing. Navas el oficio LM-IC-D-0090-14 donde primeramente se aclara que el alcance del estudio de tránsito elaborado por la Unidad de Seguridad Vial y Transporte del PITRA-LanammeUCR fue el de realizar una serie de conteos de tránsito en distintos tramos de carreteras influyentes sobre lo que será la nueva carretera, con el objetivo de reproducir para el año 2013 la condición descrita en el oficio DP-2007-323 del 12 de junio de 2007 y actualizar los datos del MOPT

utilizados para la elaboración del diseño. Las carreteras analizadas fueron la Ruta 4, la Ruta 32, la Ruta 35, la Ruta 126, la Ruta 140 y la Ruta 250.

No se omite indicar que el análisis realizado no corresponde a un estudio de demanda del proyecto, donde se estime con precisión la cantidad de tránsito generado y atraído que utilizaría el nuevo tramo de carretera. Un estudio de demanda es un estudio mayor, cuya finalidad es justamente determinar la cantidad de tránsito esperado que utilizará en el proyecto, en función de las actividades socioeconómicas de la zona de influencia del proyecto y la jerarquía de la carretera. La ejecución de este tipo de estudio no se encuentra dentro del alcance de las actividades de Ley que realiza este Laboratorio. Por lo que no es posible determinar de forma certera si la carretera en estudio llegará a alcanzar su capacidad en el periodo de diseño, esto debido a la falta de este estudio integral en las etapas previas de factibilidad y anteproyecto .

Es importante destacar que las características funcionales de la vía especificadas por MOPT (2011), la clasifican como "Troncal-Rural", que según el Manual del SIECA, (2004) son carreteras que constituyen los ejes principales y de mayor significación en la estructura de la red regional centroamericana. La velocidad de diseño utilizada para definir sus características geométricas varía entre los 80 km/h y los 60 km/h en función de la topografía del terreno.

Por otro lado, el Plan Nacional de Transporte 2011-2035 (PNT), elaborado por INECO (2011) para el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, ha definido que la Ruta Nacional No. 4, incluyendo el tramo Vuelta de Kooper - Chilamate, pertenece a la Red Vial de Alta Capacidad cuyo objetivo es conducir los principales tráficos nacionales e internacionales y favorecer el desarrollo de las plantaciones agrícolas de la zona norte. La Ruta Nacional No. 4, forma parte del denominado Corredor Norte-Caribe, conformado por las zonas aledañas a Peñas Blancas, San Carlos, Moín, Limón y Sixaola.

En el PNT 2011- 2035 también se definen las características geométricas generales de las carreteras pertenecientes a la Red de Alta Capacidad que corresponden a una velocidad de proyecto (diseño) de 120 km/h, con pendiente longitudinal máxima del 6%.

Al comparar los estándares de diseño requeridos por INECO (2011) y los definidos en el Manual del SIECA (2004) para una ruta "Troncal-Rural", la vía en etapa constructiva es de características geométricas menores que la propuesta en el PNT 2011-2035, en cuanto a la cantidad de carriles y la velocidad de diseño.



Por otra parte y en referencia a la respuesta al oficio DI-444-2013, el documento LM-IC-D-0090-14 antes mencionado, se indica lo siguiente en cuanto al pronunciamiento respecto a la interpretación del CR110.06: ...*"esta Unidad recomienda que dicho pronunciamiento sea solicitado a la Comisión de Revisión Permanente de Especificaciones Técnicas, cuyas funciones están definidas en el reglamento al artículo 6 de la ley 8114, decreto ejecutivo No.37016-MOPT, en su artículo 22 donde establece que "La CRP, mantendrá una actividad permanente de estudio, revisión de propuestas y emisión de normativa ampliada o corregida, concerniente al Manual de Especificaciones Técnicas." De tal forma que el citado pronunciamiento sobre la interpretación de esta sección cuente con el aporte de todos los miembros integrantes de la CRP la cual es presidida por el representante del Ministro de Obras Públicas y Transportes, el ingeniero Luis Mariano Ocampo, quien podrá remitir dicha consulta a la CRP para su análisis y posterior respuesta"*.



5. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto consiste en construir un tramo de 27,09 kilómetros de la Ruta Nacional N° 4, en una sección que está localizada entre las Provincias: de Alajuela y Heredia; en los cantones San Carlos y Sarapiquí, respectivamente. Dicha sección inicia en la Ruta Nacional N° 4 en el poblado de Bajos de Chilamate (Estación 0+000), finalizando en la intersección de la Ruta Nacional N° 4 con la Ruta Nacional N° 751 (Estación 27+090) cerca del poblado de Vuelta Kooper.



Figura 1. Localización del proyecto.

Las actividades previstas en esta contratación se resumen a continuación:

- Localizar y de ser necesario replantear las referencias, tanto altimétricas, como planimétricas de línea de centro del proyecto.
- Realizar la limpieza y corte de la capa vegetal, los cortes y los rellenos necesarios para construir las secciones típicas definidas en los planos constructivos del proyecto de acuerdo con el diseño horizontal y vertical de la carretera.
- Construir los sistemas de drenajes menores y mayores, así como las respectivas obras de arte, de acuerdo con ubicación, niveles, materiales, forma y dimensiones definidas en los planos constructivos del proyecto y que cumpla con la normativa técnica vigente.
- Construir los puentes viales de acuerdo con ubicación, niveles, materiales, dimensiones y sistema estructural definidos en los planos constructivos del proyecto y que cumpla con la normativa técnica vigente.
- Construir las intersecciones de acuerdo con la ubicación, forma y dimensiones definidas en los planos constructivos del proyecto.

- Construir los componentes para la seguridad peatonal (aceras, bahías para autobuses, etc.) en la ubicación, forma, dimensiones y materiales definidos en los planos constructivos del proyecto o en los anexos al presente Cartel.
- Construcción de dos puentes peatonales de acuerdo con los requisitos y especificaciones que se encuentran en el Anexo No. 4, así como un plano “tipo” de de puente construido por el CONAVI en varias rutas nacionales, como ejemplo y con carácter meramente referencial.
- Construir la estructura de pavimento mostrada en los planos constructivos del proyecto.
- Suministrar y colocar el señalamiento vertical y horizontal definido en los planos constructivos del proyecto.
- Cercar los límites del derecho de vía, a lo largo de todo el proyecto.
- Acatar y aplicar las medidas de prevención, mitigación y de contingencia, todo de conformidad con lo estipulado en la Resolución de Viabilidad Ambiental del Proyecto emitida por la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA), según Resolución con No 914-2011-SETENA de fecha 26 de abril del 2011 y consignada en el expediente No. 1301-2007-SETENA

De los planos del proyecto se detalla la sección típica la cual se desglosa en la siguiente tabla.

Tabla 1. Sección típica eje principal del proyecto

Superficie de Rodamiento	Descripción	Espaldones	Descripción
Carpeta Asfáltica= 8 cm	Clase B (Item CR402.01)	Carpeta Asfáltica= 8 a 5 cm	Clase B (Item CR402.01)
Base Asfáltica= 15 cm	Graduación A (Item CR406.01)	-	-
Base Granular= 24 cm	Graduación A (Item CR301.03)	Base Granular= 39 cm	Graduación A (Item CR301.03)
Préstamo= 50 cm	Préstamo grava de río (Item CR204.07)	Préstamo= 50 cm	Préstamo grava de río (Item CR204.07)

- En el espaldón no se incorpora base asfáltica

6. RESPONSABLES DEL PROYECTO

a) Responsables por parte de la Administración:

- Entidad ejecutora del contrato: Unidad Ejecutora, MOPT : Ing. María del Carmen Gallardo, Gerente Unidad Ejecutora
- Supervisión, por parte de la Administración: la verificación de calidad está a cargo de la empresa Vieta y Asociados que es el organismo de ensayo encargado de efectuar los ensayos de verificación de calidad que utiliza el Contratista en este proyecto.

b) Responsables por parte de la empresa constructora:

- Contratista: La empresa Contratista la Constructora Sánchez Carvajal, adjudicataria de la Licitación Pública Internacional No. 2011LI-000037-32702” para la construcción del proyecto en la Ruta Nacional No.4 Sección: Bajos de Chilamate – Vuelta de Kooper.
- Laboratorio de Autocontrol de Calidad: el laboratorio de autocontrol es OJM Consultores de Calidad y Laboratorios S.A., que es la empresa encargada de efectuar los ensayos de control de calidad a los materiales y procesos constructivos que realiza el Contratista en este proyecto.

7. INTEGRANTES DEL EQUIPO DE AUDITORÍA TÉCNICA DEL LANAMMEUCR

- Ing. Raquel Arriola Guzmán, Auditora Técnica Líder
- Ing. Ana Hidalgo Arroyo, Auditora Técnica Adjunta
- Ing. Wendy Sequeira Rojas, Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica
- Ing. Erick Acosta Hernández, (Experto técnico)
- Lic. Miguel Chacón Alvarado (Asesor Legal)

8. AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA ANÁLISIS DEL INFORME PRELIMINAR LM-PI-AT-051B-13

Como parte de los procedimientos de auditoría técnica, mediante oficio LM-AT-025-14 del 18 de marzo de 2014 se envía el informe preliminar LM-PI-AT-051B-13 a la parte auditada para que sea analizado y de requerirse, se proceda a esclarecer aspectos que no hayan sido considerados durante el proceso de ejecución de la auditoría, por lo que se otorga un plazo de 15 días hábiles posteriores al recibo de dicho informe para el envío de comentarios al informe preliminar.

Posterior al envío del informe preliminar se le brinda una audiencia a la parte auditada para que se refiera al informe preliminar, el día 02 de abril del 2014 en donde se realizó la presentación del informe LM-PI-AT-046B-12 y en la que participaron los ingenieros Ing. María del Carmen Gallardo, Gerente Unidad Ejecutora del MOPT, Ing. Alexander Moya de Vieto y Asociados S.A., Lic. Connie Chacón de CONAVI, Ing. Miguel Rojas de Vieto y Asociados S.A., Ing. Luis Ocampo del MOPT, Ing. Juan Elizondo del MOPT, Ing. Mario Campos del MOPT. Del LanammeUCR como parte del equipo auditor la Ing. Wendy Sequeira, coordinadora de la Unidad de Auditoría Técnica del PITRA, Ing. Ana Hidalgo, Ing. Raquel Arriola del equipo de auditores técnicos, el Ing. Erick Acosta de la Unidad de Seguridad Vial y Transportes del PITRA en calidad de experto técnico y Rose Mary Cabalceta.

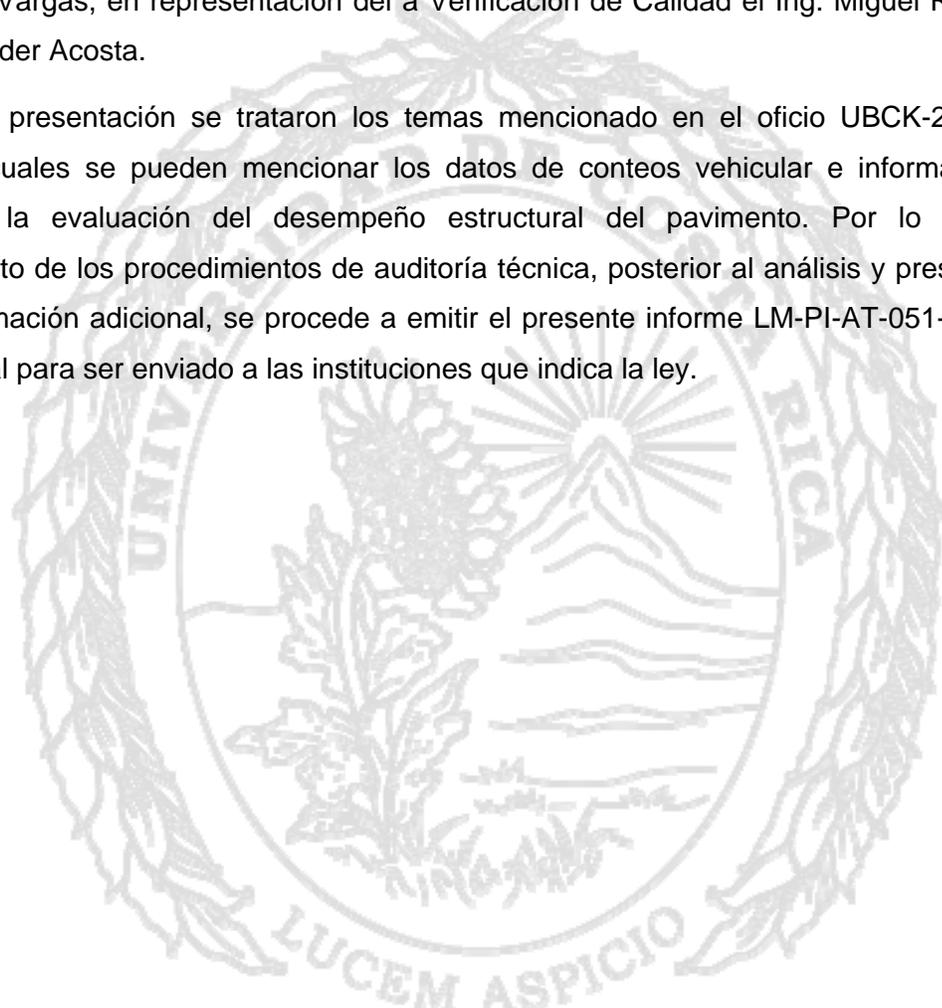
Una vez realizada esta reunión se analizan y valoran los comentarios allí realizados por parte del auditado y acorde con la pertinencia de los mismos se realizan los cambios necesarios a la versión preliminar LM-PI-AT-051B-13.



Adicionalmente se envía el 10 de abril de 2014 el oficio LM-AT-039-2014, en respuesta al oficio UBCK-248-2014 donde se solicita información del informe en cuestión, se propone una reunión para el día 28 de abril de 2014 con el propósito de tratar algunas de las observaciones realizadas en el Informe.

Se traslada por asuntos varios la reunión para el día 13 de junio del 2014 a la cual asisten el equipo auditor y por parte de la Administración Ing. María del Carmen Gallardo y el Ing. Rony Rodriguez Vargas, en representación del a Verificación de Calidad el Ing. Miguel Rojas y el Ing. Alexander Acosta.

Durante la presentación se trataron los temas mencionado en el oficio UBCK-248-2014, entre los cuales se pueden mencionar los datos de conteos vehicular e información del tránsito y la evaluación del desempeño estructural del pavimento. Por lo tanto en cumplimiento de los procedimientos de auditoría técnica, posterior al análisis y presentación de la información adicional, se procede a emitir el presente informe LM-PI-AT-051-13 en su versión final para ser enviado a las instituciones que indica la ley.



9. HALLAZGOS Y OBSERVACIONES DE LA AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA

Todos los hallazgos y observaciones declarados por el equipo de auditoría técnica en este informe de auditoría técnica se fundamentan en evidencias representativas, veraces y objetivas, respaldadas en la experiencia técnica de los profesionales de auditoría técnica, el propio testimonio del auditado, el estudio de los resultados de las mediciones realizadas y la recolección y análisis de evidencias.

Se entiende como hallazgo de auditoría técnica, un hecho que hace referencia a una normativa, informes anteriores de auditoría técnica, principios, disposiciones y buenas prácticas de ingeniería o bien, hace alusión a otros documentos técnicos y/o legales de orden contractual, ya sea por su cumplimiento o su incumplimiento.

Por otra parte, una observación de auditoría técnica se fundamenta en normativas o especificaciones que no sean necesariamente de carácter contractual, pero que obedecen a las buenas prácticas de la ingeniería, principios generales, medidas basadas en experiencia internacional o nacional. Además, tienen la misma relevancia técnica que un hallazgo.

Por lo tanto las recomendaciones que se derivan del análisis de los hallazgos y observaciones deben ser atendidas planteando acciones correctivas y preventivas, que prevengan el riesgo potencial de incumplimiento.

SOBRE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS PRELIMINARES DEL PROYECTO:

Observación 1: El Diseño Final del proyecto constituye el único estudio técnico vial base para la construcción del proyecto.

Con base en la consulta realizada por parte de la Auditoría Técnica a la Unidad Ejecutora, mediante oficio LM-AT-046-2013 del 5 de junio de 2013, en relación con el tema de estudios preliminares, se consulta que si, adicional al Informe Final de Diseño elaborado por CACISA y del Estudio de Impacto Ambiental, la Administración cuenta con estudios técnicos preliminares (prefactibilidad, factibilidad u otros estudios del proyecto realizados en la etapa de preinversión), que hayan servido de base al diseño definitivo del proyecto.

Del cuadro 1 "Presupuesto Estimado y Estructura de Financiamiento del Proyecto Bajos de Chilamate-Vuelta de Kooper" incluido en la respuesta mediante el oficio UCBK 365-2013 emitido por la Unidad Ejecutora del proyecto, se indica que los siguientes, constituyen los estudios técnicos existentes, realizados en la etapa de preinversión, de los cuales se estima un costo total del proyecto de \$65 930.00:

1. Diseños y estudios finales de ingeniería para la elaboración de Planos constructivos y diseño final
2. Estudio de Impacto Ambiental
3. Levantamiento topográfico y catastral
4. Evaluación económica

Cabe destacar que una de las funciones de la ingeniería del proyecto consiste en determinar el tipo de inversiones con base en las normas de diseño sobre infraestructura, instalaciones, maquinaria y equipamiento básico que se requiere.

En el caso de proyectos de infraestructura vial, los principales estudios que deberían de realizarse para desarrollar un proyecto acorde con las buenas prácticas, cubren las siguientes áreas:

- Tránsito
- Topografía.
- Hidráulica.
- Suelos.
- Diseño geométrico.

- Diseño de pavimentos.

Esto con el fin de obtener los planos, preliminares o definitivos, y especificaciones de las obras viales bajo estudio.

Otro punto importante de señalar es que los proyectos tienen una interacción alta con el medio que los rodea y estas interacciones son las que en muchos casos determinan si los proyectos se ejecutan o no y la vigencia del mismo en su fase de operación. Por ello, la importancia de conocer y estudiar las amenazas o peligros durante la identificación, formulación y evaluación de proyectos en cada una de las etapas de la fase de preinversión.

Las amenazas naturales se refieren a la posible manifestación de un fenómeno de origen natural cuya génesis se encuentra en los procesos naturales de transformación y modificación de la corteza de la Tierra y el ambiente. Estas se clasifican en amenazas geológicas, geomorfológicas, climatológicas, hidrometeorológicas, oceánicas y bióticas. Y es posible mediante estudios especializados determinarlas y de esta forma conceptualizar un proyecto de obra vial de la mejor manera.

Por lo que los estudios preliminares son de suma importancia para el desarrollo de obras viales para que se logren ejecutar de una manera eficiente, minimizando la posibilidad de atrasos en los plazos de conclusión, gastos adicionales que se presenten por aspectos previsibles y buscando siempre la calidad requerida de acuerdo con las especificaciones establecidas y que justifique la inversión realizada.

Por tanto, es criterio de la Auditoría Técnica que si bien es cierto en la etapa de pre inversión, se realizaron estudios técnicos preliminares por un costo aproximado de \$65 930.00, los cuales se enumeraron anteriormente, estos no son suficientes para desarrollar un proyecto acorde con las buenas prácticas de la ingeniería, ya que los estudios preliminares son de suma importancia para el desarrollo de obras viales de esta magnitud.

Observación 2: A nivel general en la Administración existe una falta de claridad en cuanto al responsable de suministrar la información del Tránsito Promedio Diario (TPD).

Para el diseño estructural de pavimentos y diseño geométrico de un proyecto vial, en el que un dato de entrada relevante es el tránsito promedio diario, existe a criterio de esta Auditoría Técnica una falta de claridad en las responsabilidades tanto por parte del MOPT como del consultor contratado para el diseño del proyecto, en materia de quién es el encargado de obtener los datos de tránsito para generar los diseños indicados para un proyecto vial que decide construirse.

Para describir esta observación se hace referencia a manera de ejemplo del caso del proyecto Bajos de Chilamate- Vuelta de Kooper donde, a continuación se describen algunos de los documentos que se emitieron durante el desarrollo del proyecto para obtener la información de tránsito mediante el uso del siguiente esquema:

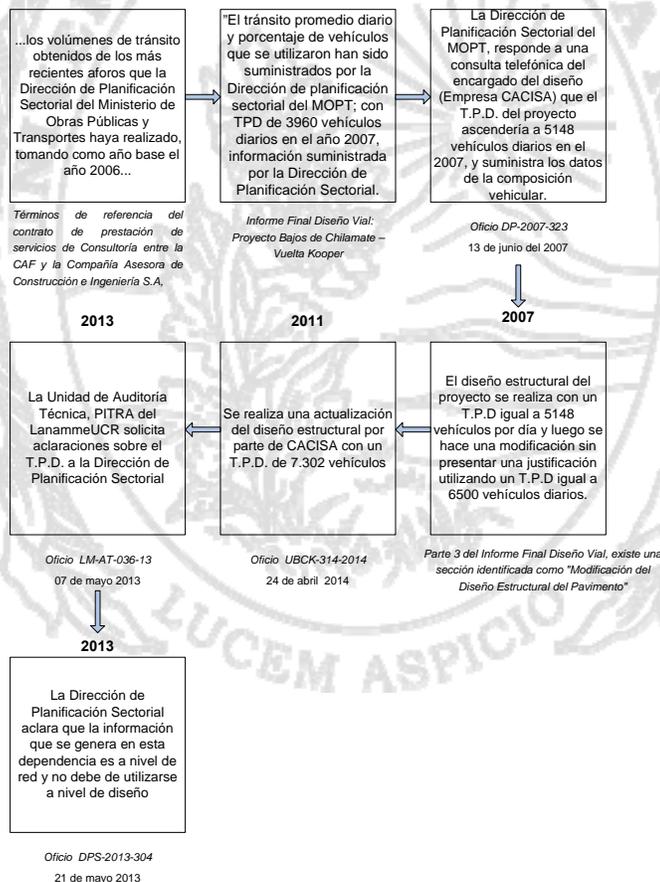


Figura 2. Cuadro resumen del proceso de solicitud para la información del tránsito.

A continuación se presentan en resumen los oficios que soportan lo planteado anteriormente: Mediante oficio LM-AT-036-13 del 7 de mayo del 2013 dirigido al Ing. Tomás Figueroa Malavassi, Director de la Dirección de Planificación Sectorial del MOPT por parte de la Auditoría Técnica, se le solicita aclaraciones sobre el oficio DP-2007-323 en el que se le responde a la empresa CACISA la consulta realizada en cuanto a la asignación de tránsito para el proyecto Bajos de Chilamate-Vuelta de Kooper. Las aclaraciones solicitadas por la Auditoría Técnica fueron las siguientes:

1. Especificar cómo se obtuvo la clasificación vehicular detallada en dicho oficio.
2. Actualizar el valor del Tránsito Promedio Diario que utilizará este nuevo proyecto.
3. Aclarar sobre el periodo de tiempo de validez de la tasa del 5% y cómo se estimó.
4. Aclarar si los valores de tráfico promedio diario incluyen el tráfico generado y atraído que se esperaría por la apertura de la nueva sección de la carretera e indicar cómo se obtuvo este valor. Adjuntar el estudio o memoria de cálculo.

Se recibe respuesta mediante oficio DPS-2013-304 del 21 de mayo del 2013 emitido por el Ing. Tomás Figueroa Malavassi, que en lo pertinente se destacan los siguientes términos:

- 1) *... "esta Dependencia pidió una reunión a su representada para explicar que técnicamente no procede dar respuesta a la misma....se recibió a tres funcionarios del LanammeUCR, a los cuales se les explicó de manera extensa los argumentos que respaldan el criterio técnico de acuerdo con los roles y responsabilidades de la Dirección de Planificación Sectorial del MOPT y su papel en el ciclo de vida de los proyectos de infraestructura de transporte.*
- 2) *... "el alcance de la información que genera esta Dirección, misma que es a nivel de red, a efectos de planificación estratégica, y no para efectos de diseño, salvo que el criterio del encargado directo del proyecto sea que la información sí se pueda utilizar para esos efectos."*
- 3) *... "se aclara que el criterio para decidir la utilización de la información para diseño es del diseñador quien debe valorar si la información cumple con requerimientos mínimos, de no ser así una buena práctica es efectuar los análisis necesarios a nivel de proyecto".*

De la respuesta del Ing. Tomás Figueroa Malavassi se concluye que, de acuerdo con lo expresado en este documento, no es función de la Dirección de Planificación Sectorial del MOPT, entre otros aspectos, actualizar los datos de Tránsito Promedio Diario (TPD) de los proyectos que se van a construir.

No obstante, en este caso en particular y de acuerdo con los términos de referencia del contrato de prestación de servicios de Consultoría entre la Corporación Andina de Fomento y la Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A, en el apartado 1.3.5 Diseño de la estructura de pavimento, se establece que:

"El consultor recomendará la estructura de pavimento a colocar en el proyecto, tomando en consideración la estructura de pavimento propuesta para el proyecto original, las condiciones del diseños suministradas, los estudios geotécnicos realizados y los volúmenes de tránsito obtenidos de los más recientes aforos que la Dirección de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes haya realizado, tomando como año base el año 2006 y utilizando el procedimiento de diseño del AASHTO-93." (lo subrayado no es del original)

Este texto no es completamente claro, ya que no se especifica si deben utilizarse los datos de volúmenes de tránsito que proporcione la Dirección de Planificación Sectorial o, si deben tomarlos como base y corroborarlos realizando un estudio específico de tránsito a nivel de proyecto para contar con datos actualizados para proceder con el diseño.

Adicionalmente, siendo personal del MOPT quien debe revisar y aprobar los diseños de un proyecto vial, como el caso que nos ocupa, deberían emitir su criterio y recomendación al consultor para que se complete la información de tránsito brindada al momento de la revisión de los diseños, si llegaron a identificar un uso incorrecto de la misma.

Por tanto, con base en lo anterior, se puede evidenciar que pese a que el contrato especifica claramente cuál es la información que se debe utilizar y donde obtenerla, falta claridad en la Administración a la hora de definir el responsable de proveer esta información.

Por otra parte, es criterio de la Auditoría Técnica, que a falta de claridad sobre la responsabilidad en cuanto a al manejo de los datos de tránsito, la Administración no puede desligarse de brindar este tipo de información, hasta en cuanto no se encuentre definido claramente, acorde con el sitio oficial en Internet de Ministerio de Obras Públicas y Transportes en cuanto a las funciones de esta dirección se menciona que:

"(...) 12. Mantener una base de datos actualizada sobre los inventarios de la red vial, con base en los inventarios de la Red Vial Cantonal; así como integrar los inventarios realizados por el CONAVI en la Red Vial Nacional, de manera que su manejo permita la obtención de información y estadísticas relevantes para proyectos y evaluación de interés cantonal o nacional. (...)

15. Desarrollar, mantener actualizado y controlar el Sistema del Registro Vial de Costa Rica, con carácter oficial nacional, en el que se detallará la infraestructura de la Red Vial Cantonal y Nacional del país, su clasificación, nomenclatura, extensión, tipo de superficie, estado, señalización, censos de tránsito y condición socioeconómica, entre otros. (...)"

En definitiva, el diseño geométrico y estructural del pavimento fueron realizados utilizando el dato de TPD reportado para el año 2007, fecha en que se presentó el diseño final del proyecto, tal y como se indica en planos y en el documento denominado *Contratación de servicios profesionales para el diseño geométrico, diseño de pavimentos y elaboración de planos constructivos, especificaciones técnicas y programa de trabajo, propuesta de señalamiento vial horizontal y vertical y presupuesto del proyecto : "Bajos de Chilamate-Vuelta Kooper"* Informe Final Diseño Vial, presentado por CACISA en diciembre 2007. Posteriormente, en el año 2011, se realizó una actualización del diseño estructural según consta en el oficio UCBK-314-2014, recibido por la Auditoría Técnica el 25 de abril de 2014. No obstante, en la actualización realizada no se indica la procedencia de los datos de tránsito utilizados.

Cabe resaltar que la calidad de la información de tránsito es relevante en el diseño geométrico y estructural del pavimento, ya que tiene un impacto directo en la definición de características del trazado y en los espesores de las diferentes capas del pavimento que soportarán la carga vehicular que transitarán por la ruta a construir.

Si la calidad de este dato es deficiente, al no actualizarse adecuadamente, se podrían presentar problemas de funcionalidad en el diseño geométrico (definición de la sección transversal de la carretera, ancho de carriles) y que el desempeño de la estructura de pavimento sea inferior al estimado, es decir, el deterioro suceda de forma prematura y no alcance la vida útil para la cual se planificó.

Observación 3: El dato de tránsito promedio diario (TPD) utilizado para definir la estructura del pavimento no tiene respaldo del soporte técnico en el que se basa dicho dato.

En el oficio DP-2007-323 del 12 de junio de 2007 emitido por la Licda. Annia Alfaro, entonces Directora de Planificación Sectorial del MOPT y dirigido al Ing. Víctor Zamora Ureña de la Empresa CACISA, ante la consulta de este último sobre la asignación de tránsito para el proyecto de carretera Chilamate-Vuelta de Kooper. (Este oficio fue generado durante la etapa de diseño), la Dirección de Planificación Sectorial proporciona la siguiente información:

- 1. Tomando como variable de referencia el tiempo de viaje entre diferentes orígenes y destinos de una red esquemática y considerando información de 3588 entrevistas, se determina que el tránsito promedio diario (TPD) que utilizará el nuevo proyecto será de 3960 vehículos diarios en el 2007, esto en lo que a tránsito normal se refiere.*
- 2. Por otra parte se debe considerar el tránsito que se generará eventualmente al entrar a operar la vía, dado el crecimiento en la producción y el turismo que está experimentando su zona de influencia .*
- 3. Es importante señalar, no obstante, ser (sic) difícil la estimación de un potencial incremento, se recomienda a su empresa, añadir al tránsito antes citado, una cifra conservadora de 30% por concepto de tránsito generado, que es lo que normalmente se acostumbra en este tipo de proyectos.*
- 4. Esto implica que el tránsito ascendería a 5148 vehículos diarios en el 2007.*
- 5. La clasificación vehicular sería la siguiente:*

Autos	Buses	Carga liviana	2E	3E	5E
38,58	4,18	18,9	11,46	4,72	22,10

- 6. Adicionalmente se adjunta la red esquemática de análisis, con los tránsitos sin y con proyecto, además de las estaciones de recuento de tránsito en la zona aledaña, con sus respectivas tasas de crecimiento.*

Esta información es de vital importancia, tal como se indicó anteriormente, tanto para el diseño geométrico como para el diseño estructural del pavimento, de ahí la consulta realizada por la Auditoría Técnica en el oficio LM-AT-036-13 del 7 de mayo del 2013 dirigido al Ing. Tomás Figueroa Malavassi, Director de la Dirección de Planificación Sectorial del MOPT.

A lo que la Dirección de Planificación Sectorial solicita una reunión para explicar que técnicamente no procede dar respuesta a la misma, dicha reunión se celebró el día 14 de mayo de 2013 en esta Dirección donde se recibió a tres funcionarios del LanammeUCR. En esta reunión el Ing. Tomás Figueroa expresa los argumentos para respaldar el criterio técnico que de acuerdo con esta Dirección soportan los roles y responsabilidades de la Dirección de Planificación Sectorial del MOPT.

En dicho oficio se menciona de manera explícita que: *... " para obra nueva, el alcance de la información que genera esta Dirección, misma que es a nivel de red, a efectos de planificación estratégica, y no para efectos de diseño, salvo que el criterio del encargado directo del proyecto sea que la información si se pueda utilizar para esos efectos. También, se ha generado mucha confusión en cuanto a los estudios básicos que se han efectuado en esta Dependencia, para estimar a nivel de perfil (evaluaciones económicas), el posible TPDA de una vía nueva (como parte de esos estudios básicos), en ese caso ese es el primer paso luego de la idea de un proyecto; posteriormente hay que agotar toda la etapa de pre inversión que conlleva seguir con pre factibilidad y/o factibilidad legal, técnica, social, ambiental, económica y financiera del proyecto; en la elaboración de los estudios de ingeniería (parte técnica) a nivel de pre factibilidad y/o factibilidad es donde se debe efectuar un estudio de tránsito detallado para estimar un TPDA y otra información básica para diseño geométrico y estructural, entre otros..."*

En síntesis, producto de la falta de claridad en la responsabilidad de actualizar los datos de tránsito por parte de la Administración en el proyecto Chilamate-Vuelta de Kooper, el proyecto en cuestión se diseñó para un tránsito generado a nivel de red para el año 2007, seis años antes de la orden de inicio del proyecto. Posteriormente, se realizó una actualización del diseño estructural utilizando otros valores de TPD y factores camión de los cuales el equipo auditor no logró evidenciar el debido soporte técnico que respaldara dichos valores, según se mencionó anteriormente. Aunado a esto, se menciona el hecho de que no se presentó para este proyecto como parte de los estudios preliminares un estudio de tránsito completo que incorpore elementos de atracción y generación de viajes producto de construcción de un proyecto vial de esta magnitud y su importancia en la red vial y desarrollo del país a nivel económico, productivo turístico, entre otros.

En la reunión realizada día 02 de abril del 2014 en las instalaciones del LanammeUCR, la Unidad Ejecutora del proyecto presenta el oficio UBCK-314-2014, donde se adjunta la memoria de cálculo del diseño del pavimento, actualizada por CACISA en el 2011, en el cual se fija como año 1 el año 2014. En este documento además de presentar un valor de tránsito y factor camión diferentes a los reportados en diseño anteriores, se documenta el reemplazó de la capa de subbase por una capa de base (con mayor aporte estructural) y se reemplaza 50 cm de subrasante por un material de relleno estructural, sin presentar respaldo o la fuente de esta información.

Específicamente en este proyecto y acorde con el análisis realizado por esta Auditoría Técnica, al no tener evidencia de haberse actualizado los datos del tránsito, se refleja en un aumento de los ejes equivalentes de diseño, lo cual repercute de forma directa en el diseño estructural y geométrico del proyecto. El efecto del aumento en el número de ejes equivalentes de diseño (ESALs) se puede observar en la siguiente tabla (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Diferencias en los datos de tránsito originalmente usados y los incluidos en las modificaciones.

Descripción	Diseño Original 2007 Cacisa	Diseño Modificado 2007 Cacisa	Actualización Diseño Cacisa 2011	Conteo Vehicular 2013. USVT LanammeUCR
Tasa de crecimiento, %	5	6	6	6
TPD	5.148	6.500	7.302	8.939
Ejes Equivalentes	13.304.078	18.871.845	16.593.258	19.067.387

Fuente: Informe Final de Diseño de Vías, CACISA, UBCK-314-2014 y LM-PI-USVT-002-2013

Tal y como se puede observar en la tabla anterior, la variación el valor del tránsito promedio diario de 7.302 vehículos diarios a 8.393 vehículos diarios, representa un aumento de 2.474.129 ejes equivalentes.

Es por esta razón que es criterio de esta Auditoría Técnica que la actualización del dato de tránsito, específicamente el dato de tránsito promedio diario (T.P.D.) y la definición de la composición vehicular del mismo es de suma importancia para el desarrollo de forma correcto de un proyecto vial, esto acorde a las buenas prácticas de la ingeniería; ya que este parámetro define no solamente el diseño estructural de la vía (espesores de las capas del pavimentos y características de las mismas), sino el diseño geométrico y la capacidad de la misma, factor importante para definir el periodo de diseño.

Informe Final LM-PI-AT-051-13	Fecha de emisión: Junio 2014	Página 24 de 47
-------------------------------	------------------------------	-----------------

SOBRE EL DISEÑO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL PROYECTO

Observación 4. El número estructural requerido en el proyecto en mención es menor al número estructural calculado, esto al realizar un análisis estructural utilizando datos actualizados de tránsito.

Entre el 13 de junio y 1^{ero} de julio de 2013, la Unidad de Seguridad Vial y Transportes del PITRA-LanammeUCR realizó una serie de conteos vehiculares en distintos tramos de carreteras aledañas al proyecto con el objetivo de reproducir los datos de la Dirección de Planificación Sectorial del MOPT utilizados para la elaboración del diseño, esto sin realizar estudios adicionales, únicamente colocando contadores vehiculares en las rutas analizadas por esta dependencia del Ministerio que corresponden a las Rutas Nacionales No: 4, 32, 35, 126, 140 y 250.

Con base en esos conteos y en los criterios aportados en 2007 por la Dirección de Planificación Sectorial, se procedió a actualizar el valor del Tránsito Promedio Diario (TPD) del proyecto a construir, dando como resultado un valor de 8.393 vehículos por día. El detalle de la estimación de este valor se puede encontrar en el informe de la Unidad de Seguridad Vial y Transporte PITRA-LanammeUCR denominado LM-PI-USVT-002-14 (Ver Anexo 1). Asimismo, utilizando los datos aportados por la Unidad Ejecutora en el oficio UBCK-314-2014, se estimó el valor correspondiente al número de ejes equivalentes para el periodo de diseño (ESALs), obteniendo como resultado 19.067.387.

Una vez calculado el número de ejes equivalentes se procedió a revisar el diseño estructural propuesto en la actualización del diseño estructural presentado por la empresa Cacisa en 2011. Para este análisis se compararon los números estructurales (SN) y se estimó el desempeño por fatiga y deformación permanente.

Con la actualización del tránsito realizada por las Unidades del PITRA-LanammeUCR, el número estructural requerido (SN_{req}) se incrementó de 5,59 a 5,70. La estructura diseñada posee un valor de número estructural $SN_{calculado}$ de 5,62, lo cual significa que la estructura bajo este nuevo escenario no cumpliría con la metodología de diseño AASHTO-93 para estas condiciones de tránsito y para el periodo de diseño establecido, debido a que posee un número estructural ($SN_{calculado} = 5,62$) ligeramente menor al número estructural requerido ($SN_{req} = 5,70$).

Cabe recalcar que para realizar el análisis y estimación del número estructural (SN) se utilizaron los datos aportados por la Unidad Ejecutora en el oficio UBCK-314-2014 del 24 de abril de 2014, en donde se adjuntó la memoria de cálculo que realizó la empresa Cacisa en 2011. Entre los parámetros utilizados se pueden mencionar la composición vehicular (porcentaje de vehículos de diferentes tipos), porcentaje de crecimiento, índice de serviciabilidad inicial y final entre otros.

Por lo tanto, debido a la actualización en el valor del tránsito de 7.302 a 8.393 vehículos por día, el número de ejes equivalentes de diseño del proyecto aumenta, lo que ocasiona que acorde con la metodología de diseño AASTHO-93 el valor del número estructural requerido (SN_{req}) aumente ligeramente y sea mayor al número estructural calculado para la estructura de pavimento propuesta. Esto podría tener consecuencias en el desempeño del proyecto durante el periodo de diseño.

Observación 5. El proyecto podría presentar deformación permanente de alta severidad antes de que se finalice el periodo de diseño de 12 años .

Se realizó un análisis de fatiga y de deformación permanente a la estructura construida, con el objetivo de verificar su desempeño durante el periodo de diseño.

Para realizar el análisis de fatiga se utilizaron dos modelos:

- Modelo de Fatiga dado por el MOPT (oficio DVP-5170-07).
- Modelo de Fatiga del Instituto del Asfalto (utilizado en la MEPDG, AASHTO Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, 2008)

Tabla 3. Análisis de desempeño por fatiga

Modelos de Fatiga	Número de repeticiones de carga para falla por fatiga N_f	Porcentaje del área total del carril con agrietamiento (pies/milla)
Modelo dado por el MOPT oficio DVP-5170-07	1,18E+11	NA
Modelo del Instituto del Asfalto (utilizado en la MEPDG)		
Para agrietamiento por fatiga de abajo hacia arriba	3,13E+10	15
Para agrietamiento por fatiga de arriba hacia abajo	5,94E+08	56

NA: No aplica

La tabla anterior muestra que para ambos modelos, el número de repeticiones para la falla por fatiga es superior al número de repeticiones esperado (ESAL de diseño = $1.91E+07$). Asimismo, se indica el porcentaje de agrietamiento esperado al finalizar el periodo de diseño de 12 años, que en el caso más crítico llegará a 56%. Por lo tanto, se concluye que la estructura propuesta es adecuada para resistir el agrietamiento por fatiga de acuerdo con los modelos utilizados.

En el caso de análisis por deformación permanente se utilizaron igualmente dos modelos:

- Modelo de deformación permanente oficializado por el MOPT en el oficio DVP-5170-07, el cual corresponde al modelo del Instituto del Asfalto.
- Modelo de la Shell al 95% de confiabilidad

Tabla 4. Análisis de desempeño por deformación permanente.

Modelo de Deformación Permanente	Número de repeticiones de carga para falla por ahuellamiento N	Número de repeticiones esperadas
Instituto del Asfalto (oficializado por el MOPT)	5,52E+07	1,91E+07
Shell al 95% de confiabilidad	7,22E+07	

De la tabla anterior se puede observar que el número de repeticiones de carga para la falla es superior al número de repeticiones esperadas, en ambos modelos, lo que significa que el pavimento no fallará por deformación permanente antes de que finalice el periodo para el cual fue diseñado.

Como ejercicio adicional, y con el objetivo de introducir en Costa Rica un análisis más fundamental en el diseño de pavimentos, se realizó la revisión del desempeño por deformación permanente utilizando el modelo incluido en la Guía Mecánico - Empírica de la ASSHTO de 2002. Con este análisis no se pretende que haya una modificación en el diseño estructural, dado que los modelos aplicados no han sido calibrados para su uso en Costa Rica, sino corresponde más a un ejercicio de implementación tecnológica muy básico y a un recordatorio de que el desempeño de cualquier estructura de pavimento debe ser monitoreado de manera rigurosa y no abandonado en el tiempo. El análisis propuesto comprende un modelo que no sólo cuantifica la deformación unitaria en la superficie de la

subrasante o la de la mezcla asfáltica, sino que además considera las deformaciones unitarias verticales de cada una de las capas que conforman la estructura del pavimento.

Esta guía indica al respecto lo siguiente:

" Por muchos años ha sido una práctica común en varios diseños mecanístico - empíricos asociar la deformación permanente con una deformación unitaria vertical excesiva en la superficie de la subrasante. Se asumía que si el pavimento estaba bien diseñado y la calidad de los materiales del pavimento sobre la subrasante estaba bien controlada, el ahuellamiento se podía reducir a niveles tolerables si se limitaba la deformación vertical en la superficie de la subrasante. Esta visión reflejaba el enfoque histórico de diseño para pavimentos flexibles que asumía que el diseño estructural era simplemente un procedimiento para disminuir el esfuerzo cortante en la capa de la subrasante controlada. Sin embargo, con tiempo y capacidades técnicas y conocimiento mejorado, se hizo evidente para los ingenieros de diseño que la deformación permanente total fue un producto de ahuellamientos acumulados que ocurren en todas las capas del sistema del pavimento." (lo subrayado no es del original)

Así las cosas, la ingeniería vial contemporánea debe tender hacia el uso de metodologías mecanicistas, en donde se haga una adecuada incorporación de las propiedades mecánicas de los materiales y a la vez, se modelen con teorías adecuadas que predigan su desempeño futuro. Para estos efectos, un guía de este tipo se está desarrollando para diseño de pavimentos en Costa Rica mediante una línea de investigación de la Unidad de Materiales y Pavimentos del PITRA-LanammeUCR.

Conocido lo mencionado anteriormente, los resultados de este modelo se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5. Análisis de desempeño por deformación permanente (modelo de MEPDG)

Capa del pavimento	Ahuellamiento (pulgadas/cm)
Carpeta asfáltica	0,44/1,12
Base asfáltica	
Base granular	0,23/0,58
Préstamo estructural	1,27/3,22
Subrasante	0,01/0,025
Total	1,97/5,00

El ahuellamiento total obtenido muestra valores superiores a los establecidos internacionalmente por AASHTO y la FHWA (Ver Tabla 6). Si bien es cierto, no existen actualmente modelos de deformación permanente calibrados para Costa Rica, los valores obtenidos con modelos internacionales brindan una aproximación o tendencia del desempeño futuro de la estructura de pavimento analizada, y en este caso podrían evidenciar un riesgo potencial de que ocurran deformaciones permanentes de alta severidad antes de que se cumpla el periodo de vida útil. De esta manera, pareciera que el material de préstamo estructural tendría condiciones mecánicas que lo vuelven más propenso a la deformación permanente. Cuando ya existan modelos de deformación permanente calibrados para el país, se tendría que tomar medidas para corregir tal escasez de rigidez, mediante ensayos de materiales adecuados, a través de caracterización dinámica, no lineal del material mencionado.

Tabla 6. Criterios internacionales sobre límites de deformación permanente

Criterio	Deformación permanente (D), pulgadas
<i>Severidad¹</i>	
- Baja	0,25 < D < 0,50
- Media	0,50 < D < 1,00
- Alta	D > 1,00
<i>Tipo de Carretera²</i>	D máxima, pulgadas
- Interestatal	0,40
- Primaria	0,50
- Otras	0,65

¹ Guía de Diseño AASHTO, 1993

² Federal Highway Administration

Del análisis anterior se puede concluir que la estructura de pavimento diseñada para colocar en el proyecto podría presentar ahuellamientos de alta severidad antes de que termine la vida útil (periodo de diseño), por lo que es recomendable monitorear de forma rigurosa la estructura del pavimento y brindarle un adecuado mantenimiento, con el fin de detectar y prevenir cualquier daño prematuro.

SOBRE LA EVALUACIÓN DE SEGURIDAD VIAL EN EL PROYECTO

Observación 6. El alineamiento horizontal del proyecto satisface el criterio de radio mínimo definido en la normativa.

De acuerdo con la normativa de referencia aplicada al proyecto geométrico corresponde a la versión del año 1994 del Manual de Diseño Geométrico de AASTHO ("A Policy for de Geometric Design of Highways and Streets") y al Manual de Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales del año 2004 (SIECA, 2004), tal y como se menciona en el Anexo 2 (LM-PI-USVT-003-14), el tipo de carretera es Troncal Rural, lo cual equivale a un Sistema Arterial Rural Menor (AMR), según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA, 2011). Este tipo de vía se caracteriza por:

- Tránsito Promedio Diario (TPD): 3.000 – 10.000 vehículos
- Número de carriles: 2

Y con las siguientes características de servicio:

- Conexión de ciudades y otros generadores de tránsito que son capaces de atraer viajes sobre distancias largas.
- Servicio departamental y municipal integrado.
- Espaciamiento interino acorde con la densidad de población, de modo que todas las zonas desarrolladas en los departamentos estén a distancias razonables de las carreteras arteriales. Movimientos en corredores acordes a los puntos anteriores con longitudes de viaje y densidad de viaje mayores que las predominantemente servidas por los sistemas rurales colector o local.

Por tanto, las arterias menores constituyen vías, cuyo diseño debería esperarse que provea velocidades de viaje relativamente altas, y mínima interferencia de los movimientos directos. Una vez definido esto de acuerdo con la normativa mencionada y conociendo, de la información disponible en los planos del proyecto, que la velocidad de diseño indicada " V_d " es de 100 km/h y el peralte máximo indicado, " e " es de 10% se determina que el radio mínimo es de 358 metros.

De una revisión de los planos del proyecto, tal y como se evidencia en el Anexo 2, las curvas de menor radio fueron de 420 metros de radio cada una, según se observa en la siguiente tabla, por lo tanto el alineamiento horizontal satisface el criterio de radio mínimo.

Tabla 7. Curvas horizontales presentes en el proyecto de menor radio.

Número de Curva Horizontal	Ubicación de la curva horizontal según su punto de inicio (PI)	Radio (m)
15	9+076	420
16	10+358	420
17	11+483	420
18	12+281	420

Fuente: Informe LM-PI-USVT-003-14, valores de estacionamientos aproximados

Nota: Análisis de acuerdo a los planos de proyecto.

Por lo que con base en el apoyo técnico de la Unidad de Seguridad Vial y Transporte del PITRA-LanammeUCR, es razón de esta Auditoría Técnica que en los planos del proyecto se satisface el criterio del radio mínimo, de acuerdo con la normativa de referencia (Manual de Diseño Geométrico de AASTHO, 1994), cumpliendo así con uno de los requisitos necesarios para tener un diseño geométrico adecuado, que salvaguarde la seguridad de los usuarios y cumpla con las buenas prácticas de la ingeniería.

Observación 7. El alineamiento horizontal del proyecto no satisface el criterio de la longitud máxima de la recta en algunas de las secciones .

En el Manual Centroamericano de Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (SIECA, 2011) se establece el criterio que la longitud máxima de recta no debe exceder el valor de 20 veces la velocidad de diseño, esto permite evitar la monotonía en la carretera y que disminuya la concentración del conductor, por lo que también disminuye las oportunidades de exceder el límite de velocidad.

De la revisión realizada en el informe LM-PI-USVT-003-2014 que se anexa a este informe de Auditoría Técnica (ver Anexo 2), la velocidad de diseño es de 100 km/h, por lo que la longitud máxima de recta recomendada para este proyecto sería de 2.000 metros, de acuerdo a la normativa de referencia.

Por otro lado, la recomendación de la normativa está dirigida a las curvas de radio amplio (mayores a radio de 1.000 m), estas no son funcionales al final de los tramos rectos puesto

que no rompen con la monotonía al no exigir gran concentración por parte del conductor durante su travesía por la curva por lo que no se ve obligado a disminuir su velocidad.

En el proyecto en estudio, esta condición se da en las estaciones 0+000 y 4+800, 13+500 y 16+900, y 17+200 y 27+200, por lo cual es recomendable que la Administración preste atención a estos estacionamientos, que eventualmente podrían ser puntos con un alto riesgo potencial de accidentes por exceso de velocidad o por salida de la vía

Por lo tanto es consideración de esta Auditoría Técnica que acorde con el análisis del diseño geométrico establecido en los planos del proyecto Chilamate-Vuelta de Kooper, el alineamiento horizontal no satisface el criterio de la longitud de recta máxima, por lo que en el proyecto existen puntos de riesgo potencial de accidentes en la vía y que pueden afectar la seguridad vial de los usuarios de la vía.

Observación 8: En algunos de tramos del proyecto en estudio se presentan incumplimientos en cuanto a distancia de visibilidad para curvas horizontales y verticales.

De acuerdo con el análisis realizado por la Unidad de Seguridad Vial y Transportes PITRA-LanammeUCR (Ver Anexo 2) y del estudio realizado a los planos del proyecto sobre las especificaciones del alineamiento horizontal se conoce que la velocidad de diseño es de 100 km/h y el terreno que predomina clasifica como Ondulado – Plano (Lomerío), por lo que la pendiente máxima debería ser de 4,0%, acorde con la normativa de referencia (AASHTO, 2004).

En la Tabla 6 se pueden observar las curvas verticales que exceden el 4,0% de pendiente máxima indicado por la normativa. Sin embargo, cabe señalar que en la memoria de cálculo del diseño geométrico, el diseñador, indica que la pendiente máxima a utilizar es de un 6,0%. Esta indicación posiblemente afecte la visibilidad disponible en curvas verticales e intersecciones, así como la velocidad de operación de los vehículos pesados, de acuerdo al criterio experto.

Tabla 8. Curvas verticales identificadas en los planos del proyecto que exceden la pendiente máxima de 4.0%

Desde		Hasta		Pendiente (%)
Número de curva Vertical	Estación del PIV	Número de curva Vertical	Estación del PIV	
1	0+002	2	0+295	4,701
8	2+420	9	2+722	6,000
28	10+407	29	10+704	-4,826
29	10+704	30	11+134	5,411
39	16+299	40	16+579	4,651
68	25+763	69	26+000	-4,997

Fuente: Informe LM-PI-USVT-003-14, valores de estacionamientos aproximados
Nota: Análisis de acuerdo a los planos de proyecto.
PIV: punto de inicio en una curva vertical

Adicionalmente, es importante señalar que de acuerdo con la normativa de referencia (AASHTO 2011, Sección 3.5.2 *General Design Controls*), las curvas horizontales de radios pequeños se deberán evitar en la parte más alta de una cresta, o en la parte más baja de un columpio. La curvatura en el alineamiento vertical como en el horizontal deberá ser lo más reducida posible para asegurar la visibilidad de ambas carreteras para asegurar un frenado adecuado. De igual forma, el punto de inicio en el punto de inicio de una curva horizontal (PI) y el punto de inicio en una curva vertical (PIV) deben estar alejados de forma tal que no interfieran con la visibilidad del usuario.

De acuerdo con el análisis de los planos del proyecto, en la siguiente tabla (ver Tabla 7) se pueden observar curvas horizontales y verticales que podrían presentar un riesgo potencial de accidente como consecuencia de restricciones en la distancia de visibilidad.

Tabla 9. Combinación de curvas horizontales y verticales con riesgo de visibilidad limitada

Número de Curva		Ubicación de acuerdo a su punto de inicio		Ángulo de deflexión (Δ) (m)	Radio (m)	Pendientes	
Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical			g1 %	g2 %
6	14	4+970	4+937	33,475	700	2,081	-1,831
7	15	5+404	5+397	7,64	700	-1,831	1,875
15	24	9+076	9+076	0,238	420	1,698	-1,200
19	32	13+098	13+022	75,419	800	2,908	-0,700
22	41	17+106	17+007	98,999	600	1,825	-1,358
35	68	25+808	25+763	45,344	1000	2,227	-4,997

Fuente: Informe LM-PI-USVT-003-14, valores de estacionamientos aproximados
Nota: Análisis de acuerdo a los planos de proyecto.

Adicionalmente a este estudio de curvas verticales y horizontales, la Unidad de Seguridad Vial y Transportes PITRA-LanammeUCR realizó un análisis del diseño geométrico con la herramienta *Highway Safety Design Model (IHSDM)* versión 7.0.0) donde se estudió el proyecto en ambos sentidos de circulación. En las siguientes tablas se detallan los tramos donde se presentan los incumplimientos de distancia de visibilidad que corresponden a sectores donde el valor del grado de curvatura de las curvas horizontales o el valor de la curvatura vertical ("K") no cumplen con el valor mínimo de la normativa, o se encuentran muy cercanos entre sí a los valores de punto de inicio en una curva horizontal (PI) y el punto de inicio en una curva vertical (PIV), por lo que limitan la visibilidad disponible del conductor. (Ver Tablas 7, 8 y 9)

Tabla 10 Tramos con incumplimientos de distancia de visibilidad disponible, sentido creciente (Chilamate-Vuelta de Kooper).

Estación		Visibilidad	
Inicio	Final	Disponible (m)	Requerida (m)
0+158	0+236	178	185
5+146	5+468	140	185
6+368	6+462	148	185
6+668	6+774	144	185
7+512	7+666	166	185
8+690	9+216	108	185
9+964	10+474	152	185
10+896	11+652	108	185
11+836	12+406	152	185
12+532	13+378	150	185
16+854	17+164	128	185
25+060	25+376	166	185

Nota: Análisis de acuerdo a los planos de proyecto.
Fuente: Informe LM-PI-USVT-003-14

Tabla 11 Tramos con incumplimientos de distancia de visibilidad disponible, sentido decreciente (Vuelta de Kooper-Chilamate).

Estación		Visibilidad	
Inicio	Final	Disponible (m)	Requerida (m)
0+378	0+406	184	185
0+528	0+634	184	185
4+878	5+240	140	185
6+306	6+400	148	185
7+114	7+334	150	185
8+214	8+690	140	185
8+920	9+362	152	185
10+108	10+704	108	185
11+126	11+798	152	185
11+982	12+636	108	185
14+326	14+618	166	185
17+124	17+270	182	185
17+940	18+386	166	185
24+586	24+650	170	185
25+734	26+066	166	185

Nota: Análisis de acuerdo a los planos de proyecto.
Fuente: Informe LM-PI-USVT-003-14

Tabla 12 Tramos con incumplimientos en el valor de la curvatura vertical "K"

Estación		Valor de K		Curva	
Inicio	Final	Según planos (m/%)	Según normativa (m/%)	Tipo	Longitud (m)
0+195	0+395	51,81	52,00	Cresta	200
2+299	2+539	36,36	45,00	Columpio	240
5+317	5+477	43,17	45,00	Columpio	160
7+662	7+842	43,90	45,00	Columpio	180
10+514	10+894	37,12	45,00	Columpio	380
12+581	12+781	41,30	45,00	Columpio	200
16+150	16+450	35,94	45,00	Columpio	300
19+516	19+724	37,20	45,00	Columpio	208
22+196	22+336	37,55	45,00	Columpio	140
26+010	26+276	40,95	45,00	Columpio	266
26+944	27+084	42,80	45,00	Columpio	140
27+139	27+229	50,39	52,00	Cresta	90

Fuente: Informe LM-PI-USVT-003-14, valores de estacionamientos aproximados

Nota: Análisis de acuerdo a los planos de proyecto.

Por lo tanto al realizar un análisis comparativo entre la normativa y los planos del proyecto se denotan incumplimientos en cuanto a distancia de visibilidad tanto para curvas horizontales como verticales o la combinación de ambas en algunos tramos del proyecto, por esta razón se recomienda a la Administración realizar un análisis profundo y detallado en estas secciones en específico, con el objetivo de mejorar la seguridad vial y desempeño del proyecto y por ende la inversión pública.

Observación 9:Tramos del proyecto analizado presentan inconsistencias del diseño geométrico calificadas como "aceptables" y una sección de este presenta una inconsistencia calificada como "pobre".

Los criterios de evaluación de la consistencia del diseño geométrico más utilizados en el ámbito internacional, se centran en la valoración de diferenciales de velocidad, entre la velocidad de diseño y la velocidad de operación entre dos tramos de carretera consecutivos.

Esta evaluación de la consistencia del diseño geométrico se realiza a partir de un perfil de velocidades que se utiliza para detectar las inconsistencias de velocidad a lo largo del alineamiento. Un perfil de velocidades es un gráfico que compara las velocidades de operación contra distancia, y se identifican las inconsistencias de diseño a partir de criterios establecidos.

La Unidad de Seguridad Vial y Transportes PITRA LanammeUCR utiliza la metodología desarrollada por Lamm (*Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook*. McGraw-Hill, 1999), quien define que la consistencia local (entre segmentos consecutivos) del diseño geométrico de carreteras de dos carriles, se puede evaluar según el cumplimiento de criterios que utilizan como indicador el diferencial entre de la velocidad de diseño (v_d) y la velocidad de operación (v_{85}); estos criterios se muestran en la Tabla 11. El primer criterio analiza la diferencia entre la velocidad de operación (v_{85}) y la velocidad de diseño (v_d) en un mismo segmento, mientras que el segundo analiza la disminución de velocidad de operación entre una tangente (i) y una curva (i+1) consecutiva. Estos diferenciales de velocidad son los que el conductor en teoría puede asimilar sin violar su expectativa. (Para mayor detalle ver Anexo 2).

Tabla 13. Criterios de consistencia del diseño geométrico.

Consistencia del diseño geométrico	Criterio 1 (km/h)	Criterio 2 (km/h)
Buena	$ v_{85} - v_d \leq 10$	$ v_{85i} - v_{85(i+1)} \leq 10$
Aceptable	$10 < v_{85} - v_d \leq 20$	$10 < v_{85i} - v_{85(i+1)} \leq 20$
Pobre	$ v_{85} - v_d > 20$	$ v_{85i} - v_{85(i+1)} > 20$

Nota: Tomado de LM-PI-USVT-003-14.

Tal y como se menciona en el Anexo 2, en Costa Rica no se ha definido un modelo específico para las condiciones del país, sin embargo para la elaboración de este informe se utilizó el modelo de predicción de velocidad utilizado por la *Federal Highway Administration* (FHWA, 2000) en el programa *Interactive Highway Safety Design Model* (IHSDM). Con dicho programa se obtienen los siguientes gráficos donde se muestran para el sentido Chilamate-Vuelta de Kooper (creciente) y para el sentido contrario (decreciente), los resultados del análisis de consistencia del diseño geométrico.

Ambos gráficos están estructurados de la siguiente forma: en la parte inferior el perfil de velocidades (en color verde), más arriba los radios de curva (en color celeste) y el grado de curvatura (en color gris), seguido del valor de curvatura "K" (en color rosado) y el perfil altimétrico del trazado (en color fucsia) y finalmente, en la parte superior se ubican las intersecciones del proyecto, sin embargo los planos del proyecto no contienen información suficiente para poder incluirlas dentro del análisis. Adicionalmente, los elementos individuales que incumplen el criterio 1 especificado se muestran con banderas según el código de colores y los tramos que incumplen con el criterio 2 se representan por medio de una línea a trazos con los colores indicados.

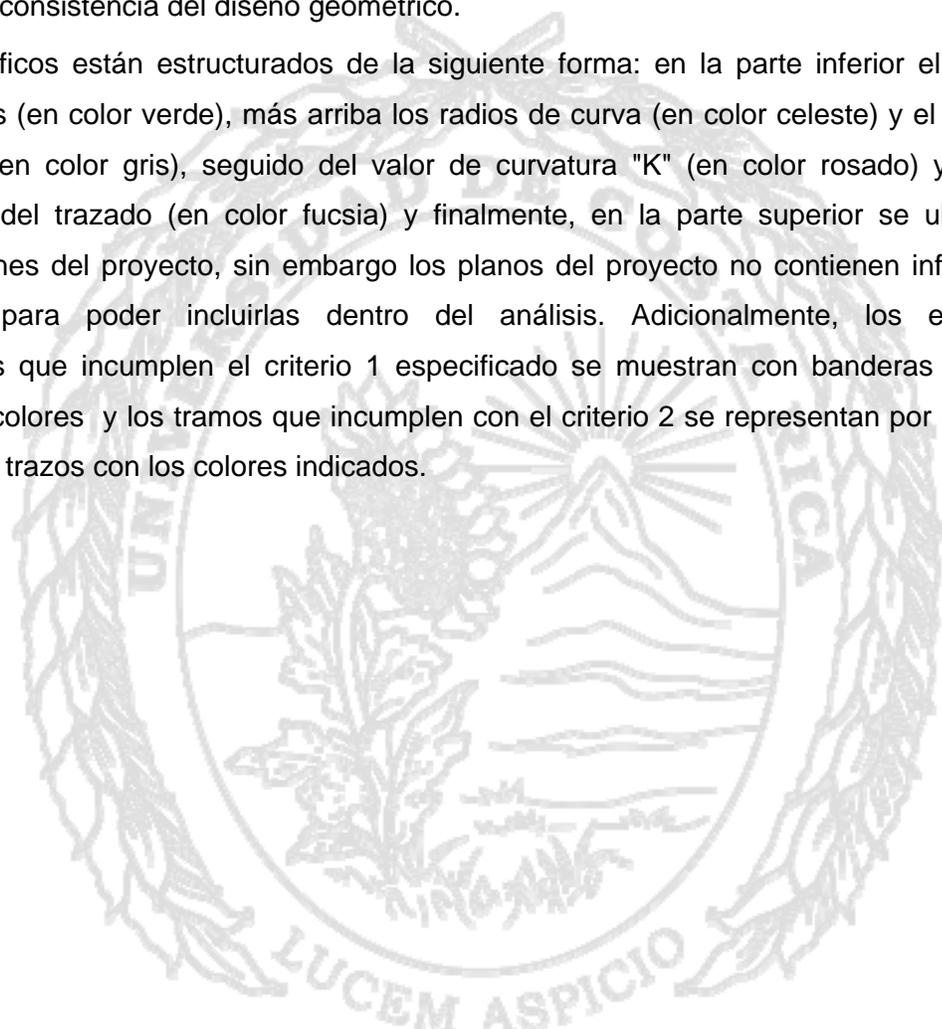
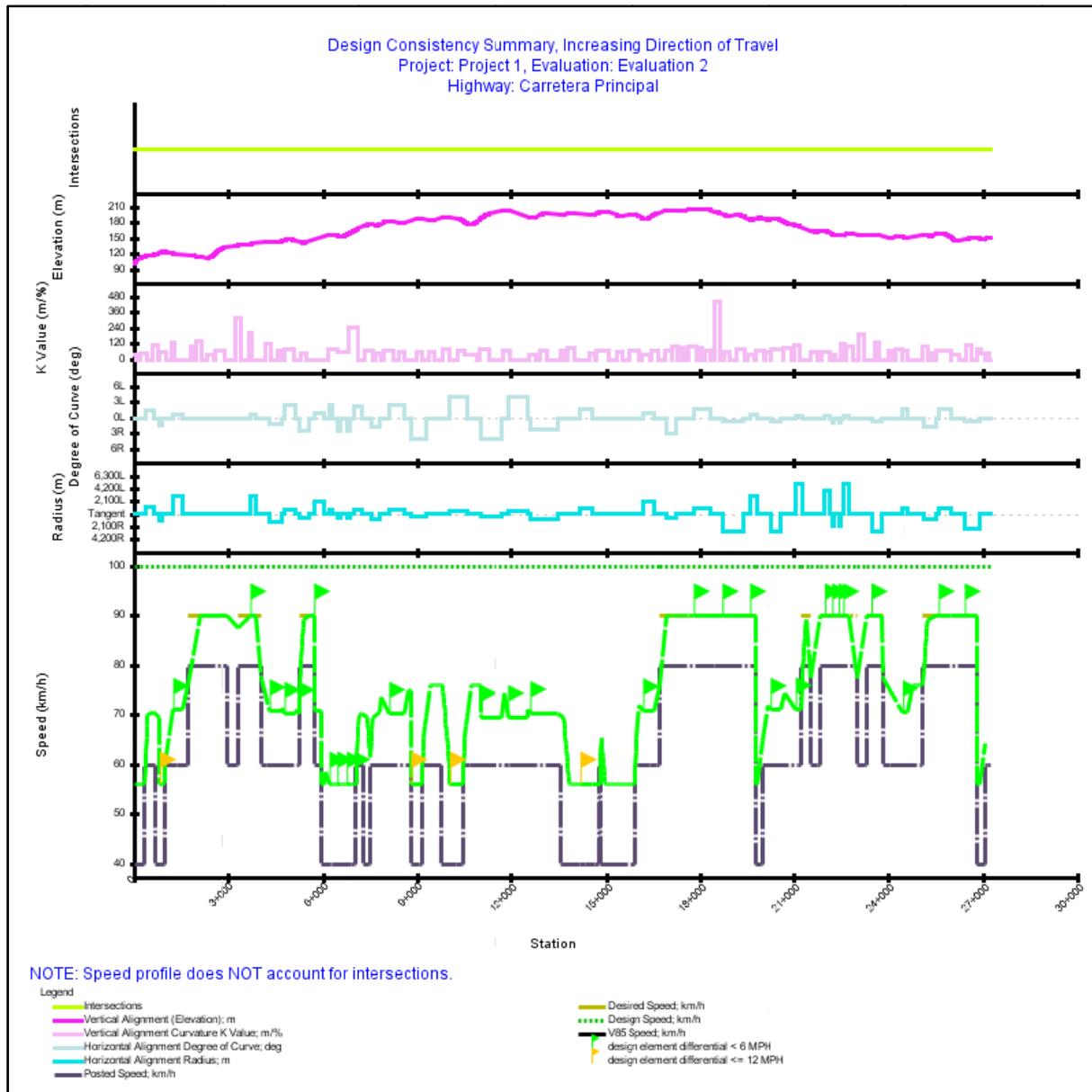
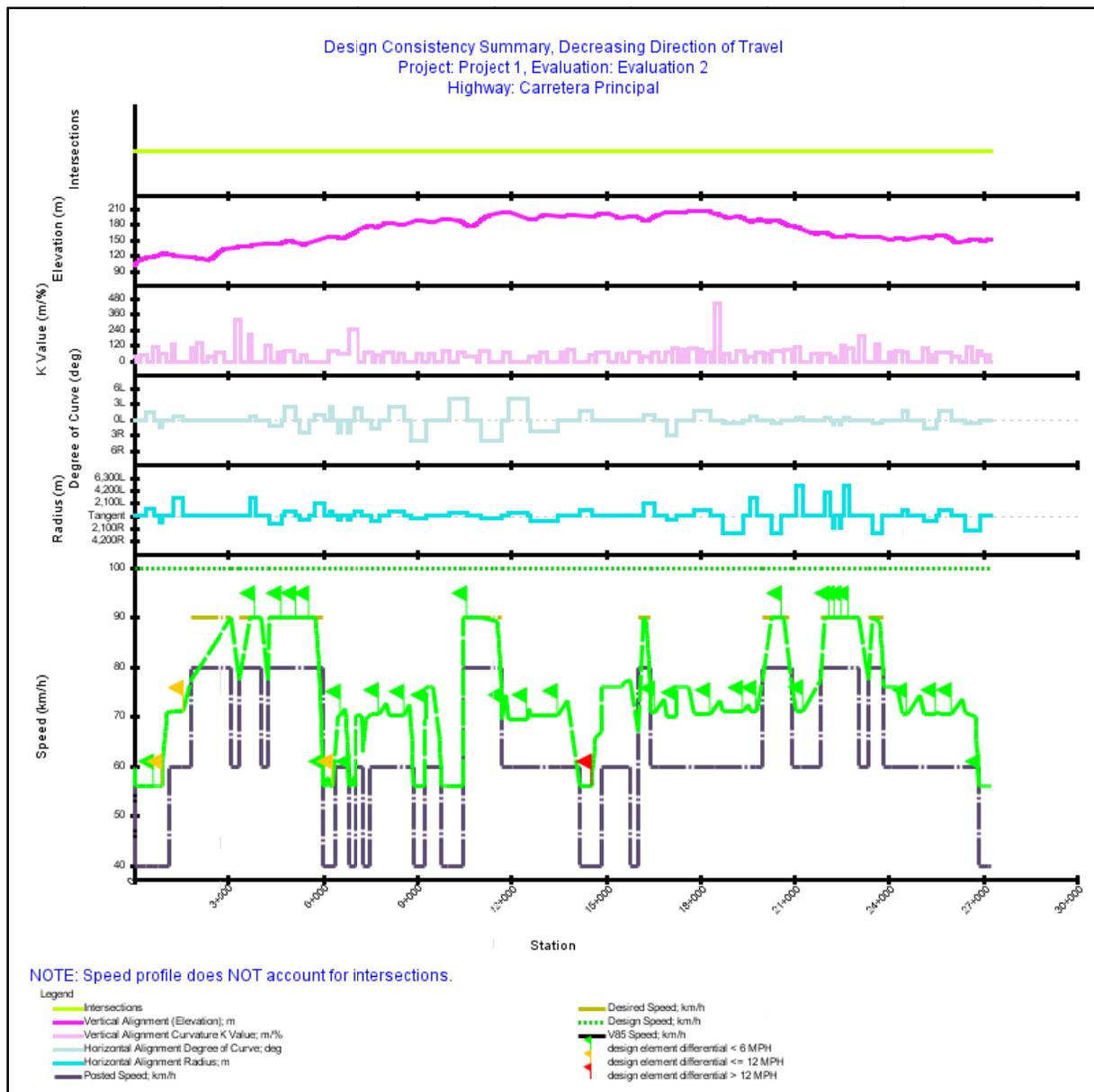


Gráfico 1. Perfil de velocidades para el sentido creciente, Chilamate-Vuelta Kooper



Fuente: Informe LM-PI-USVT-003-14

Gráfico 2. Perfil de velocidades en sentido decreciente, Vuelta Kooper-Chilamate



Fuente: Informe LM-PI-USVT-003-14

Con respecto al criterio 1 (Ver Tabla 11), obtenidos para el sentido Chilamate-Vuelta de Kooper, se observa que el perfil de velocidad de operación proyectado no supera al valor de la velocidad de diseño. Sin embargo, se observan ocho tramos donde el diferencial de velocidades de operación y diseño se encuentra entre 10 km/h y los 20 km/h, por lo que incumplen con el criterio 1. Estos tramos se pueden clasificar con inconsistencias "aceptables" ya que no aumentan el riesgo potencial de accidentes pero su diseño puede mejorar. Para el caso del criterio 2 los resaltados en color amarillo, se observan 4 elementos del alineamiento donde el diferencial de velocidades entre elementos consecutivos (tangente-curva) está entre 10 km/h y 20 km/h. Estas inconsistencias también se califican como "aceptables".

Para el sentido decreciente, se muestra una condición similar, el perfil de velocidad de operación proyectado no llega a superar al valor de la velocidad de diseño del proyecto (100 km/h). Se observan ocho tramos donde el diferencial de velocidades de operación y diseño se encuentra entre 10 km/h y los 20 km/h, que incumplen con el criterio 1. Estos tramos se pueden clasificar con inconsistencias "aceptables"; que tal y como se mencionó anteriormente estas inconsistencias no aumentan el riesgo potencial de accidentes pero su diseño puede mejorar. En el caso del criterio 2, cuatro elementos del alineamiento presentan inconsistencias de velocidad, de estos elementos, 3 de ellos están resaltados con bandera de color amarillo, donde el diferencial de velocidades entre elementos consecutivos (tangente-curva) está entre 10 km/h y 20km/h, y uno de los elementos esta resaltado con bandera de color rojo donde el diferencial de velocidades entre elementos consecutivos (tangente-curva) es mayor a 20km/h. Estas inconsistencias según Lamm (1999), pueden ser calificadas como "aceptable" (color amarillo) y "pobre" (color rojo) respectivamente.

Por lo tanto, las inconsistencias encontradas en el análisis se clasifican en su mayoría como "aceptables" acorde con la clasificación de la Tabla 11. Es importante mencionar que el diferencial de velocidades (10 a 15 km/h) se encuentra dentro del rango de tolerancia de la Ley de Transito y Seguridad Vial (Ley 8677), pero no deja de ser un indicador sobre riesgo potencial de que los límites de velocidad sean excedidos especialmente en las zonas pobladas donde el límite de velocidad indicado es de 40 km/h. Este riesgo potencial tendría un impacto en la probabilidad y frecuencia de choques relacionados con exceso de velocidad.

Por lo anterior, la estrategia de mitigación de accidentes de tránsito de la Administración en estas secciones debe orientarse a equiparar las velocidades entre ambos elementos, reforzar la señalización vial e implementar otras medidas tendientes a disminuir la velocidad en la tangente.

8. CONCLUSIONES

- No se evidencia una política clara de parte de la Administración, en cuanto asignar al responsable de generar y suministrar la información de estudios y proyecciones de tránsito para el diseño geométrico y estructural del pavimento de un proyecto vial. Tras la revisión documental realizada por esta Auditoría Técnica se evidencia que hay diferencias de criterios dentro de la Administración.
- Se han detectado debilidades en relación con la etapa de diseño y estudios preliminares de proyectos viales, tales como: actualización de los datos de tránsito ó escasos de estudios preliminares. Los estudios preliminares son de suma importancia para que el desarrollo de obras viales se ejecuten de una manera eficiente, minimizando la posibilidad de atrasos en los plazos de conclusión, gastos adicionales que se presenten por aspectos previsibles y buscando siempre la calidad requerida de acuerdo con las especificaciones establecidas y que justifique la inversión realizada.
- Realizando una actualización del tránsito (TPD), la estructura de pavimento diseñada para ser colocada en el proyecto no cumple con el número estructural requerido según la metodología de diseño AASHTO-93 ni con el criterio de resistencia a la deformación permanente ya que el pavimento fallaría por ahuellamiento antes de que termine la vida útil (periodo de diseño), según los modelos de desempeño utilizados en el análisis.
- En el proyecto en cuestión y de acuerdo al análisis de la Unidad de Seguridad Vial y Transporte del PITRA-LanammeUCR, criterio el criterio del radio mínimo se satisface.
- De acuerdo con el análisis del diseño geométrico establecido en los planos del proyecto Chilamate-Vuelta de Kooper, el alineamiento horizontal no satisface el criterio de la longitud máxima en algunos tramos de la vía.
- En general a lo largo del proyecto en estudio, el diseño geométrico mostró una inconsistencia "aceptable" con respecto a la expectativa del conductor, solo en un caso se obtuvo un tramo de consistencia local "pobre". Las inconsistencias aceptables

responden a oportunidades de mejora en cuanto al diseño, no así las inconsistencias pobres que podrían incrementar la probabilidad y frecuencia de choques relacionados con el exceso de velocidad.

- La verificación del cumplimiento de normativa de diseño geométrico que realizó la Unidad de Seguridad Vial y Transportes PITRA, LanammeUCR, se considera aceptable. El principal incumplimiento está asociado con la distancia de visibilidad disponible y la requerida, dado que se determinaron varios tramos con limitaciones en este parámetro, que podría afectar negativamente el nivel de seguridad del proyecto.

9. RECOMENDACIONES

Le corresponde a la Administración definir e implementar las medidas correctivas y preventivas pertinentes, que contribuyan subsanar los hallazgos y observaciones planteados en el presente informe. A continuación se indican algunas recomendaciones.

A la Dirección de Ingeniería del MOPT

- Se recomienda establecer una política homogénea en la institución en cuanto a la generación, actualización y uso de la información de tránsito para el diseño geométrico y estructural de un proyecto vial, de manera que en la fase de diseño, esté definida claramente el ente responsable de generar y actualizar esta información de tránsito para elaborar los diseños respectivos.
- Se recomienda velar por que en el futuro, para proyectos de obra vial se desarrollen todos los estudios preliminares necesarios en las diferentes áreas de la ingeniería vial que permitan que el proyecto se ejecute de una manera eficiente, minimizando la posibilidad de atrasos en los plazos de conclusión, gastos adicionales que se presenten por aspectos previsibles y buscando siempre la calidad requerida de acuerdo con las especificaciones establecidas y que justifique la inversión realizada.
- Con respecto a la información que genera la Dirección de Planificación Sectorial del MOPT sobre el tránsito en las rutas nacionales, se recomienda definir los requerimientos mínimos que debe cumplir dicha información para ser utilizada tanto en el diseño geométrico como estructural del proyecto vial. De esta manera se podría contar con un criterio que indique claramente si los datos suministrados pueden utilizarse a nivel de

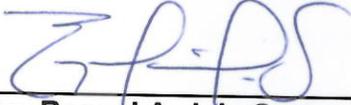
proyecto o de lo contrario, se deben generar nuevos estudios detallados de tránsito y a la Administración para corroborar y asegurar la calidad de los diseños.

- Se recomienda que al realizar la verificación y validación de las propuestas de estructuras para un proyecto vial se realicen análisis de desempeño (por fatiga y deformación permanente), que permitan al diseñador y a la Administración valorar el desempeño de la estructura durante la vida útil del proyecto.

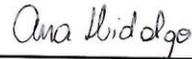
A la Unidad Ejecutora proyecto Bajos de Chilamate - Vuelta de Kooper

- Debido a que la estructura de pavimento del proyecto podría presentar ahuellamientos de alta severidad durante su vida útil, es recomendable monitorear el proyecto de forma rigurosa y brindarle un adecuado mantenimiento, con el fin de detectar y prevenir cualquier daño prematuro.
- Es importante que la Administración vele por que la ubicación de las zonas de adelantamiento permitido y la señalización vial en aquellos puntos donde la distancia de visibilidad está por debajo del estándar de la vía, con el objetivo de minimizar la posibilidad de accidentes de tránsito.
- Se recomienda la implementación de medidas de tránsito calmado en aquellos tramos de la vía donde la velocidad deba restringirse por alguna situación particular de riesgo y que esta no esté claramente definida para el conductor.

Equipo Auditor



Ing. Raquel Arriola Guzman.
Auditora Técnica, LanammeUCR



Ing. Ana Elena Hidalgo Arroyo.
Auditora Técnica, LanammeUCR

Aprobado por:



Ing. Wendy Sequeira Rojas MSc
Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica LanammeUCR



Ing. Luis Guillermo Loria Salazar, PhD.
Coordinador General Programa de Infraestructura del Transporte

Visto bueno de legalidad



Lic. Owen Gooden Morales.
Asesor Legal LanammeUCR



ANEXO 1

Informe de LM-PI-USVT-002-2014



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-USVT-002-14

Informe

REVISIÓN DE LA ESTIMACIÓN DEL TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO

Proyecto "Construcción de la Ruta Nacional No. 4,

Bajos de Chilamate-Vuelta de Kooper.

Licitación Pública No. 2011LI-000037-32702"

Preparado por:

Unidad de Seguridad Vial y Transporte



San José, Costa Rica
Enero, 2014



Información técnica del documento

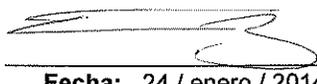
1. Informe LM- PI-USVT-002-14		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: Revisión de la estimación del tránsito promedio diario del proyecto, "Construcción de la Ruta Bajos de Chilamate-Vuelta de Kooper. Licitación Pública No. 2011LI-000037-32702"		4. Fecha del Informe Enero, 2014.
7. Organización y dirección 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		
8. Notas complementarias: Informe solicitado por la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR.		
9. Resumen El objetivo de este informe es realizar una revisión de la estimación del tránsito promedio diario para el proyecto "Construcción de la Ruta Nacional No 4. "Construcción de la Ruta Bajos de Chilamate-Vuelta de Kooper. Licitación Pública No. 2011LI-000037-32702". La revisión de la estimación del tránsito promedio diario (TPD), se realizó a partir de la realización de conteos de tránsito simultáneos en la zona de influencia inmediata del proyecto, comprendida por las rutas 4, 32, 35, 126, 140 y 250, realizados desde el 25 de junio al 1ero. de julio del año 2013 En el análisis realizado se trató de reproducir la metodología de estimación del TPD del proyecto utilizada en el oficio DP-2007-323 de la Dirección de Planificación Sectorial del MOPT, para luego establecer escenarios comparativos entre ambas fuentes de información. Finalmente, se realizó una estimación de la capacidad del tramo de la vía, a partir de la información indicada en los planos del proyecto, para determinar el TPD de saturación de la vía. La capacidad se calculó a partir de las metodología del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010). En conclusión, el TPD del proyecto calculado con los supuestos realizados en el oficio DP-2007-323 está por debajo del TPD proyectado a partir del muestreo de tránsito realizado por el LanammeUCR luego de aplicar esa misma metodología. No fue posible verificar con certeza el porcentaje de atracción y de crecimiento recomendados por el oficio a partir de la información aportada.		
10. Palabras clave: Tránsito promedio diario, capacidad de carreteras, Ruta Nacional 4, Chilamate-Vuelta Kooper.	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 27
13. Preparado por: Ing. Erick Acosta Hernández Unidad de Seguridad Vial y Transporte  Fecha: 24 / enero / 2014		
14. Revisado por: Ing. Diana Jiménez Romero, MSc, MBA Coordinadora Unidad de Seguridad Vial y Transporte  Fecha: 24 / enero / 2014	15. Aprobado por: Ing. Guillermo Loría Salazar Coordinador General PITRA-Lanamme  Fecha: 24 / enero / 2014	

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	4
1.1	OBJETIVO DEL INFORME	4
1.2	ALCANCE DEL INFORME	4
1.3	ANTECEDENTES.....	5
1.4	METODOLOGÍA.....	6
2	MARCO TEÓRICO.....	10
2.1	CAPACIDAD DE UN TRAMO DE CARRETERA.	10
2.2	PARÁMETROS DE FLUJOS DE TRÁNSITO.	11
3	RESULTADOS.....	14
3.1	SITUACIÓN CON PROYECTO PROYECCIÓN A 12 AÑOS, AÑO 2025.....	19
3.2	ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA VÍA.....	23
3.3	COMPARACIÓN DE LOS ESCENARIOS.	24
4	CONCLUSIONES.....	26
5	RECOMENDACIONES.....	27
	REFERENCIAS.....	28
	ANEXO	29

INFORME DE REVISIÓN DE LA ESTIMACIÓN DEL TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO

"Construcción de la Ruta Bajos de Chilamate-Vuelta de Kooper. Licitación Pública No. 2011LI-000037-32702"

1 INTRODUCCIÓN

La estimación de la demanda de tránsito es uno de los parámetros más importantes del diseño de carreteras en general. Comúnmente, este valor se estima a partir del Tránsito Promedio Diario (TPD) o por medio de un modelo de demanda que toma en cuenta variables socioeconómicas de uso del suelo para determinar cuál será la cantidad de usuarios que utilizará la infraestructura vial que se desea desarrollar.

La vida útil de la carretera, la cantidad de carriles, el nivel de servicio y la cantidad de ejes equivalentes para el diseño del pavimento, son algunas de las principales variables que dependen de esta estimación de la demanda. Por lo tanto, la estimación de este valor debe ser realizada con la mayor exactitud y confiabilidad posible, para evitar un dimensionamiento incorrecto de la infraestructura y un desperdicio de recursos.

1.1 Objetivo del informe

Revisar la proyección del Tránsito Promedio Diario del proyecto "Construcción de la Ruta Bajos de Chilamate-Vuelta de Kooper. Licitación Pública No. 2011LI-000037-32702".

1.2 Alcance del informe

En el contenido del informe se circunscribe al análisis del contenido del oficio **DP-2007-323**, de fecha 12 de junio del 2007, emitido por la Licda. Annia Alfaro Quesada, en calidad de Directora de la Dirección de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes. El oficio citado se adjunta en el Anexo.

El alcance de este informe se limita a realizar una valoración del TPD de las rutas aledañas al tramo de carretera a construir. La valoración se realizó a partir de un

Informe LM-PI-USVT-002-14	Fecha de emisión: 24 enero de 2014	Página 4 de 33
---------------------------	------------------------------------	----------------

muestreo de tránsito ejecutado desde el 25 de junio al 1ero. de julio del año 2013, con el fin de actualizar las proyecciones de tránsito con los supuestos indicados en el oficio citado.

En este informe no se consideró la elaboración de un modelo de demanda que pronostique la cantidad de tránsito atraído y generado por el proyecto o su distribución por las vías existentes.

1.3 Antecedentes

El informe surge como respuesta a la solicitud planteada, por la Unidad de Auditoría Técnica (UAT) de Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) mediante la solicitud LM-UAT-02-2013, como complemento de la información requerida para ejecutar la tarea de fiscalización del proyecto dentro del ámbito de la seguridad vial del diseño geométrico y la señalización vial del proyecto.

La información aportada por la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR consiste en los planos finales de diseño geométrico y señalización vial del proyecto remitidos por la Unidad Ejecutora, mediante oficio UCBK-361-2012, el cual adjunta copia del oficio **DP-2007-323**, de fecha 12 de junio del 2007, de la Licda. Annia Alfaro Quesada, en calidad de Directora de la Dirección de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

El requerimiento de la UAT es verificar lo expuesto en el oficio DP-2007-323 sobre la estimación del Tránsito Promedio Diario del proyecto. El oficio indica que a partir de la correlación del tiempo de viaje entre diferentes orígenes y destinos y la combinación con los datos recopilados de 3588 entrevistas, se determinó que el valor del tránsito promedio diario (TPD) de la zona de influencia del proyecto es de 3960 vehículos por día para el año 2007. Sin embargo, el oficio declara que este valor no considera el efecto que podrían tener otras variables influyentes como la producción agrícola y el turismo.

El oficio indica que con el objetivo de considerar el efecto del uso del suelo y otras actividades económicas, así como el incremento del tránsito por el fenómeno de viajes atraídos y generados por la construcción del nuevo tramo de carretera, la Dirección de Planificación Sectorial del MOPT, recomienda el uso de un **30% de atracción de viajes** y un **5% de tasa de crecimiento anual**, ambos considerados como valores

Informe LM-PI-USVT-002-14	Fecha de emisión: 24 enero de 2014	Página 5 de 33
---------------------------	------------------------------------	----------------

típicos para este tipo de proyectos. Finalmente, el mismo oficio indica que el TPD estimado del proyecto será de 5148 vehículos diarios en el año 2007.

1.4 Metodología

La metodología utilizada en el proceso de revisión de las proyecciones de TPD para el proyecto citado, consistió en un muestreo de TPD en las rutas aledañas al proyecto para actualizar los registros del año 2007, adjuntos en el oficio **DP-2007-323**, con valores medidos en campo del año 2013, y tomar este año como base para realizar las nuevas proyecciones de TPD al horizonte proyecto de 12 años correspondientes al año 2025.

Los nuevos conteos del año 2013 realizados por el LanammeUCR, se utilizaron junto con los valores de TPD indicados en el oficio **DP-2007-323**, para plantear tres escenarios comparativos:

- **Escenario 1:** Realizar la proyección al año 2025 a partir de los valores de TPD del oficio **DP-2007-323** con una tasa de crecimiento del 5% y un atracción del 30%.
- **Escenario 2:** Realizar la proyección del TPD al año 2025 a partir de los valores de TPD medidos por el LanammeUCR, de las secciones de control 40460 y 21011, ambas de la Ruta 4, con una tasa de crecimiento del 5% y una atracción del 30%, según se indica en el oficio **DP-2007-323**, sin considerar el efecto del tránsito local entre las Rutas 126 y 140.
- **Escenario 3:** Realizar la proyección al año 2025 a partir de los valores de TPD medidos por el LanammeUCR en el año 2013, a partir en las secciones de control 21560 de la Ruta 140 y 40481 de la Ruta 126, como se realizó en el oficio **DP-2007-323**.

En los escenarios considerados se hace referencia la condición "sin proyecto", donde solamente se considera un 5% de crecimiento pero se deja de lado el 30% de atracción de viajes y la condición "con proyecto" considera el 5% de crecimiento y el 30% de atracción de viajes.

Los conteos del LanammeUCR se realizaron entre los días martes 25 de junio y lunes 1ero de julio de 2013. Las carreteras analizadas fueron la Ruta 4, la Ruta 32, la Ruta 35, la Ruta 126, la Ruta 140 y la Ruta 250. En el Cuadro 1, se indican las rutas

Informe LM-PI-USVT-002-14	Fecha de emisión: 24 enero de 2014	Página 6 de 33
---------------------------	------------------------------------	----------------

aforadas por medio de contadores neumáticos. En el Anexo se adjuntan todos los conteos realizados.

Cuadro 1: Ubicación de las estaciones de aforo

Id. Contador	Ruta	Sección de control	Tramos	
61	4	40460	San Carlos	Chilamate
65	126	40481	San Carlos	La Virgen
66	140	21560	Río Cuarto	Venecia
62	250	20870	Aguas Zarcas	Pital - Muelle
68	250	20671	Pital	Aguas Zarcas
64	4	21011	Aguas Zarcas	Muelle
70	4	21011	Aguas Zarcas	Muelle
63	32	70150	Limón	San José
69	4	40521	Puerto Viejo	Int. Ruta32-Ruta 4
62	35	21060	Las Tablitas	Muelle
68	4	21012	La Cruz	Muelle
64	35	20650	Muelle	Florencia

Fuente: Unidad de Seguridad Vial y Transporte, LanammeUCR, 2013

En la **Figura 1**, se presenta el esquema, sin escala, de los centros urbanos y carreteras más cercanas al nuevo proyecto, así como los valores del TPD determinados por el MOPT (los valores indicados arriba corresponden al TPD de la carretera correspondiente al escenario "sin proyecto", mientras que los valores indicados abajo corresponden al TPD de la carretera para la situación "con proyecto").

Para contabilizar de una forma apropiada los resultados de los conteos se calculó el promedio de vehículos por día, despreciando aquellos días en que el conteo fuera notoriamente menor al resto de los días, el primer y el último día del muestreo y los fines de semana.

Finalmente, se realizó el cálculo de capacidad del tramo de carretera a construir, según la metodología para carreteras de dos carriles (TRB, 2010), para obtener una aproximación del valor del TPD de saturación y controlar la posibilidad de que las proyecciones de TPD no sobrepasen este valor.

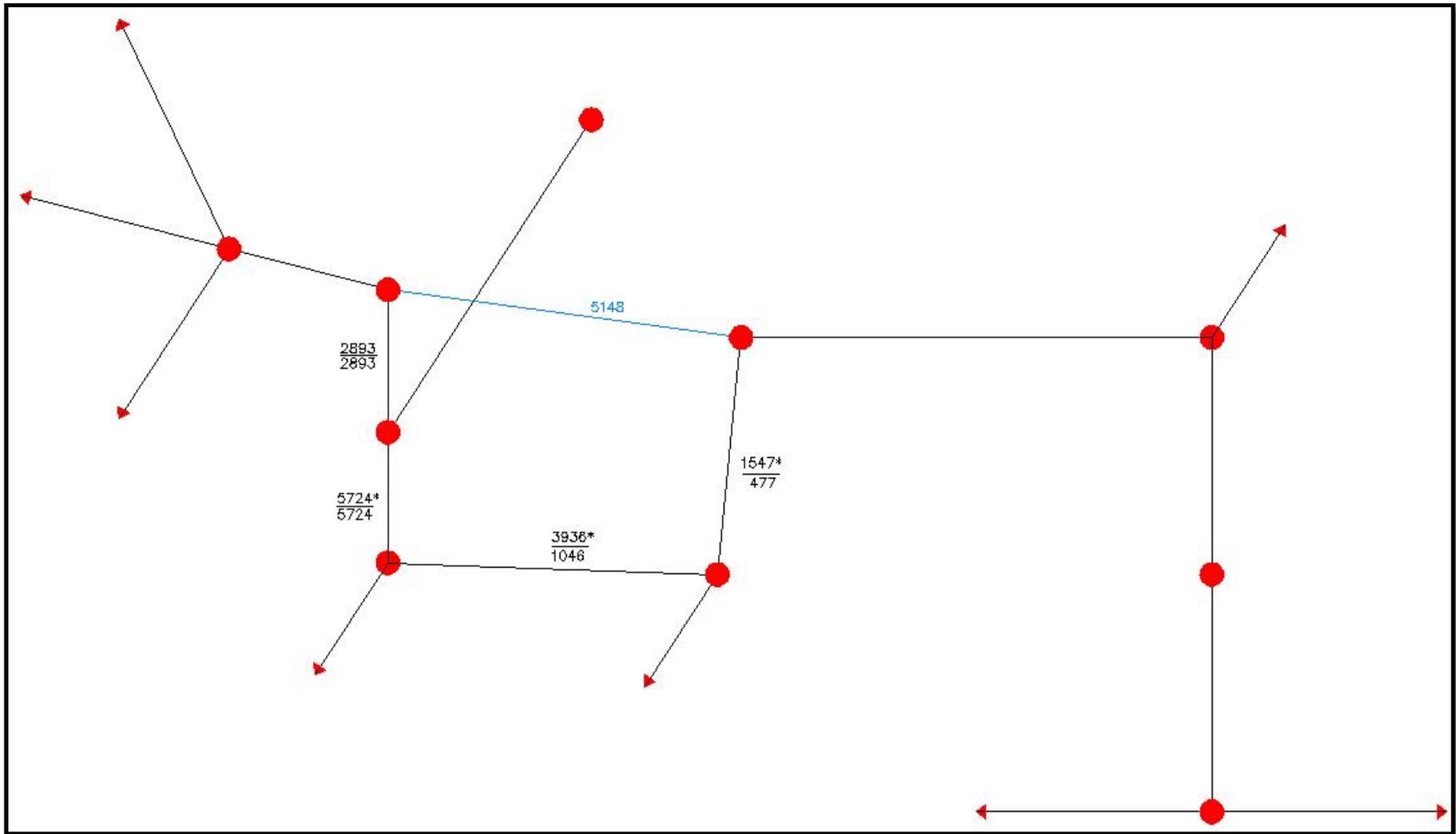


Figura 1: Esquema TPD con proyecto / sin proyecto para el año 2007, según el oficio DP-2007-323.

2 MARCO TEÓRICO

En esta sección se desarrollan los temas que dan fundamento a la metodología de revisión del valor de TPD para el proyecto. Los conceptos enunciados obedecen a las buenas prácticas de la ingeniería recopilados a partir de la investigación realizada y al criterio técnico del equipo de la Unidad de Seguridad Vial y Transporte.

2.1 Capacidad de un tramo de carretera.

La capacidad se define como la cantidad máxima de vehículos que pueden circular por un tramo dado de carretera de determinadas características y durante un periodo específico de tiempo, asumiendo que no hay influencia del tránsito más adelante, dentro del punto de análisis (SIECA, 2010).

El objetivo principal del análisis de capacidad, es estimar el número máximo de vehículos que una carretera puede acomodar con razonable seguridad durante un periodo de tiempo. Si una carretera opera cerca de la capacidad, no puede acomodar más tránsito y su nivel de operación será ineficiente (SIECA, 2010).

El flujo máximo de tránsito de una carretera corresponde a su capacidad, que ocurre cuando se alcanza la densidad crítica que ocasiona que el tránsito también circule a velocidad crítica. Esta situación ocurre durante la hora de máxima demanda (hora pico). La capacidad se expresa en unidades de vehículos equivalentes de pasajeros por hora.

Las carreteras de dos carriles tienen las siguientes condiciones ideales que definen su capacidad (TRB, 2010):

- Flujo ininterrumpido.
- Ancho de carril: 3,60 metros.
- Ancho del espaldón: 1,80 metros.
- Sin vehículos pesados.
- Velocidad de diseño mayor o igual a 90 km/h.
- Sin restricciones a la velocidad de rebase.
- Sin interferencia por el cruce de peatones.
- La distribución del tráfico por dirección es 50%-50%.

La capacidad máxima de una carretera de dos carriles, según el Manual de Capacidad de Carreteras (TRB, 2010), considerando ambos sentidos de circulación y bajo condiciones ideales, es de 3400 vehículos de pasajeros por hora. Sin embargo, la capacidad se puede obtener a partir de las condiciones reales que prevalecen en el sitio de la carretera. Ver Cuadro 2.

$$c = 3400 * f_g * f_{HV} \quad (1)$$

donde:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T * (E_T - 1) + P_R * (E_R - 1)} ; \text{ factor de ajuste por vehículos pesados.}$$

P_T porcentaje de pesados y buses.

P_R porcentaje de vehículos recreativos.

E_T factor de equivalencia de pesados y buses a vehículos de pasajeros.

E_R factor de equivalencia de recreativos a vehículos de pasajeros.

f_g factor de ajuste por pendientes

Una carretera de dos carriles puede generar dos valores de capacidad en función de cómo se obtengan los factores de ajuste para velocidad promedio de viaje (average travel speed, ATS) y el porcentaje de tiempo perdido por seguir a otro vehículo (percent time spend following, PTSF). De ambos valores, debe escogerse el más pequeño para un flujo mayor o igual a 900veh/h.

Cuadro 2: Valores críticos para cálculo de demanda

Dirección	f_g	E_T	E_R
Ascendente	1.00	1.3	1.0
Desendente	1.00	1.1	1.0

Fuente: Roess, et al, 2011.

2.2 Parámetros de flujos de tránsito.

El flujo de tránsito se puede categorizar en dos grandes grupos: macroscópicos, que describen el flujo de tránsito como un todo y los microscópicos, que describen el comportamiento individual de los vehículos en la corriente de tráfico (Roess, et al, 2011).

Los principales parámetros macroscópicos son: volumen o tasa de flujo, velocidad y densidad, mientras que los parámetros microscópicos incluyen la velocidad individual de cada vehículo, la progresión (headway) y el espaciamiento entre vehículos (Roess, et al, 2011).

En el caso particular del volumen o tasa de flujo, este se define como la cantidad de vehículos que pasan por un punto, carril o sentido de una vía. Comúnmente, se expresan en vehículos o en vehículos por unidad de tiempo (Roess, et al, 2011).

Los volúmenes diarios, como el TPD, se utilizan para documentar las tendencias en el tiempo en cuanto al comportamiento del tráfico en las carreteras y su principal uso se encuentra en la planificación del mejoramiento y construcción de nueva infraestructura vial. Este volumen no considera la distribución por dirección o por carril, dado que son volúmenes totales que consideran todas las variaciones del tráfico durante el día.

La ejecución del diseño detallado y toma de decisiones requiere del conocimiento de los volúmenes horarios de la hora pico del día, separado por sentido de circulación y tipo de vehículo.

En algunas ocasiones, durante la etapa de diseño, el volumen horario de diseño se estima a partir de proyecciones de TPDA (tránsito promedio diario anual), estas proyecciones se obtienen a partir de series históricas y modelos de predicción, como el modelo geométrico y modelos econométricos, dado que el comportamiento de tránsito puede ser más estable en comparación con el volumen horario, obteniéndose una predicción más confiable.

La relación existente entre el TPDA (AATD por sus siglas en inglés) y el volumen horario de diseño (DDHV) se muestra en la ecuación (2):

$$DDHV = AATD * K * D \quad (2)$$

Donde:

K = proporción de tránsito diario (TPD) con respecto al volumen de la hora pico también conocido como factor de hora de máxima demanda (FHMD).

D = proporción de TPD que corresponde al volumen de la hora pico que viaja en la dirección crítica.

En diseño vial, el factor K representa la fracción equivalente al volumen de la 30ava hora pico del año, suponiendo que se disponga de una serie de datos de al menos 365 días continuos de conteo. En carreteras rurales, la 30ava hora pico puede tener valores significativamente más bajos que la peor hora del año, por lo que los picos de volumen no son frecuentes.

El factor D también tiende a ser una variable significativa dado que su valor depende de la distribución por dirección del tránsito, la cual a su vez depende de los cambios en el desarrollo del entorno de la vía. Los valores de DDHV, se pueden transformar a volúmenes equivalentes de diseño a partir de la ecuación (3) (Roess, et al, 2011).

$$v = \frac{V}{FHP * f_g * f_{HV}} \quad (3)$$

donde:

v: es la demanda en vehículos equivalentes de pasajeros.

FHP: es el factor de hora pico.

Los valores de K y D deben ser determinados para cada zona o región y ser monitoreados y actualizados constantemente.

3 RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de la revisión de la estimación del Tránsito Promedio Diario del proyecto "Construcción de la Ruta Bajos de Chilamate-Vuelta de Kooper, Licitación Pública No. 2011LI-000037-32702".

Los resultados del muestreo de tránsito se muestran en el Cuadro 3, y en la Figura 2 se ilustra un diagrama del área de estudio y en la

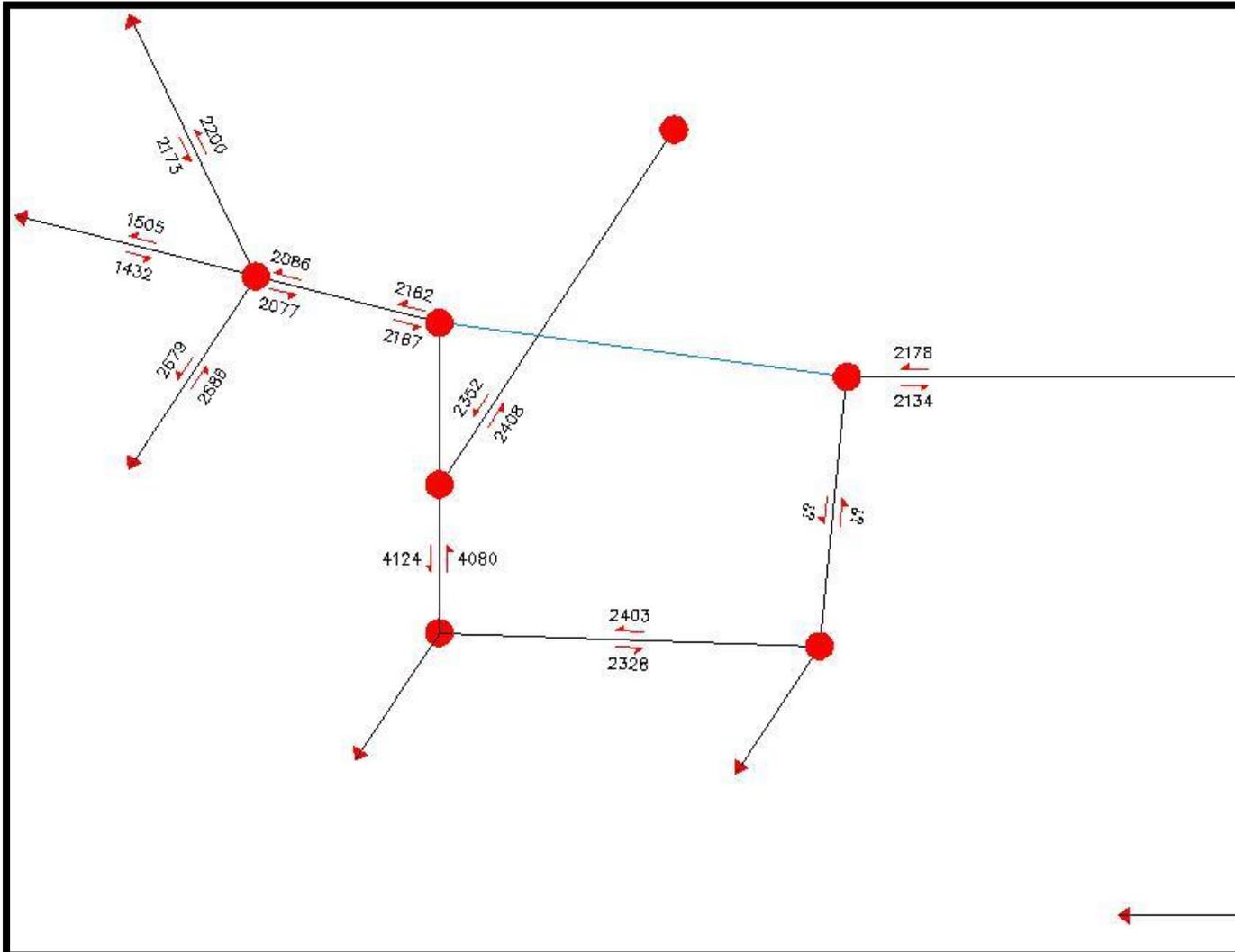


Figura 3 se ubican dentro del área de estudio los resultados del muestreo:

Cuadro 3: Tránsito promedio diario por sentido por tramo de ruta

Contador	Ruta	Origen (A)	Destino (B)	TPD POR SENTIDO
----------	------	------------	-------------	-----------------

				De A a B	De B a A
61	4	San Carlos	Chilamate	2134	2178
65	126	San Carlos	La Virgen	No se utiliza	
66	140	Río Cuarto	Venecia	2328	2403
62	250	Aguas Zarcas	Pital - Muelle	4080	4124
68	250	Pital	Aguas Zarcas	2352	2408
64	4	Aguas Zarcas	Muelle	2162	2167
70	4	Aguas Zarcas	Muelle	2086	2077
63	32	Limón	San José	5872	5951
69	4	Puerto Viejo	Intersección. R32-R4	2941	2887
62	35	Las Tablitas	Muelle	2173	2200
68	4	La Cruz	Muelle	1432	1505
64	35	Muelle	Florencia	2679	2686

Nota : El contador 65 no recolectó datos confiables.

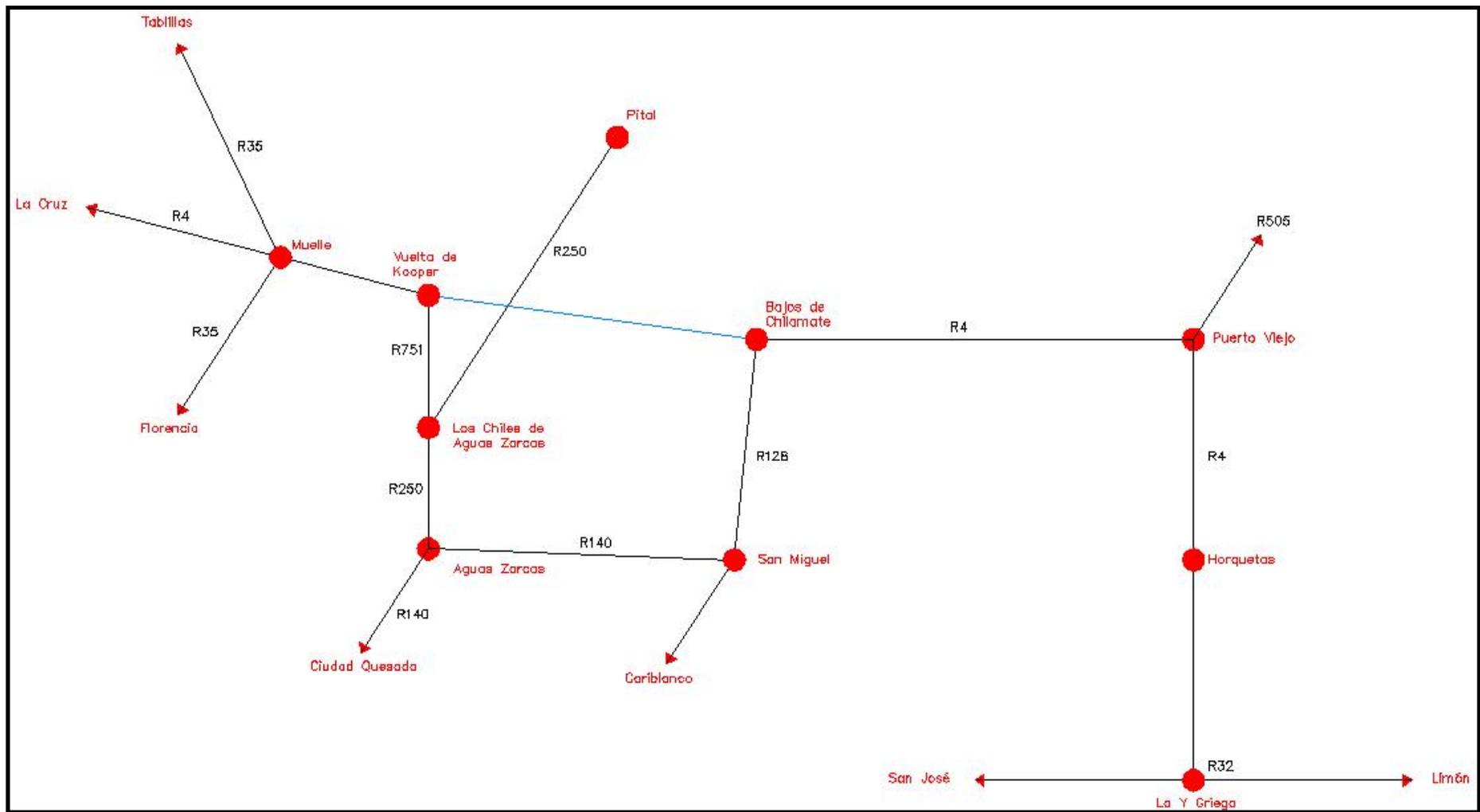


Figura 2: Esquema de la zona de estudio adaptada del oficio DP-2007-323.

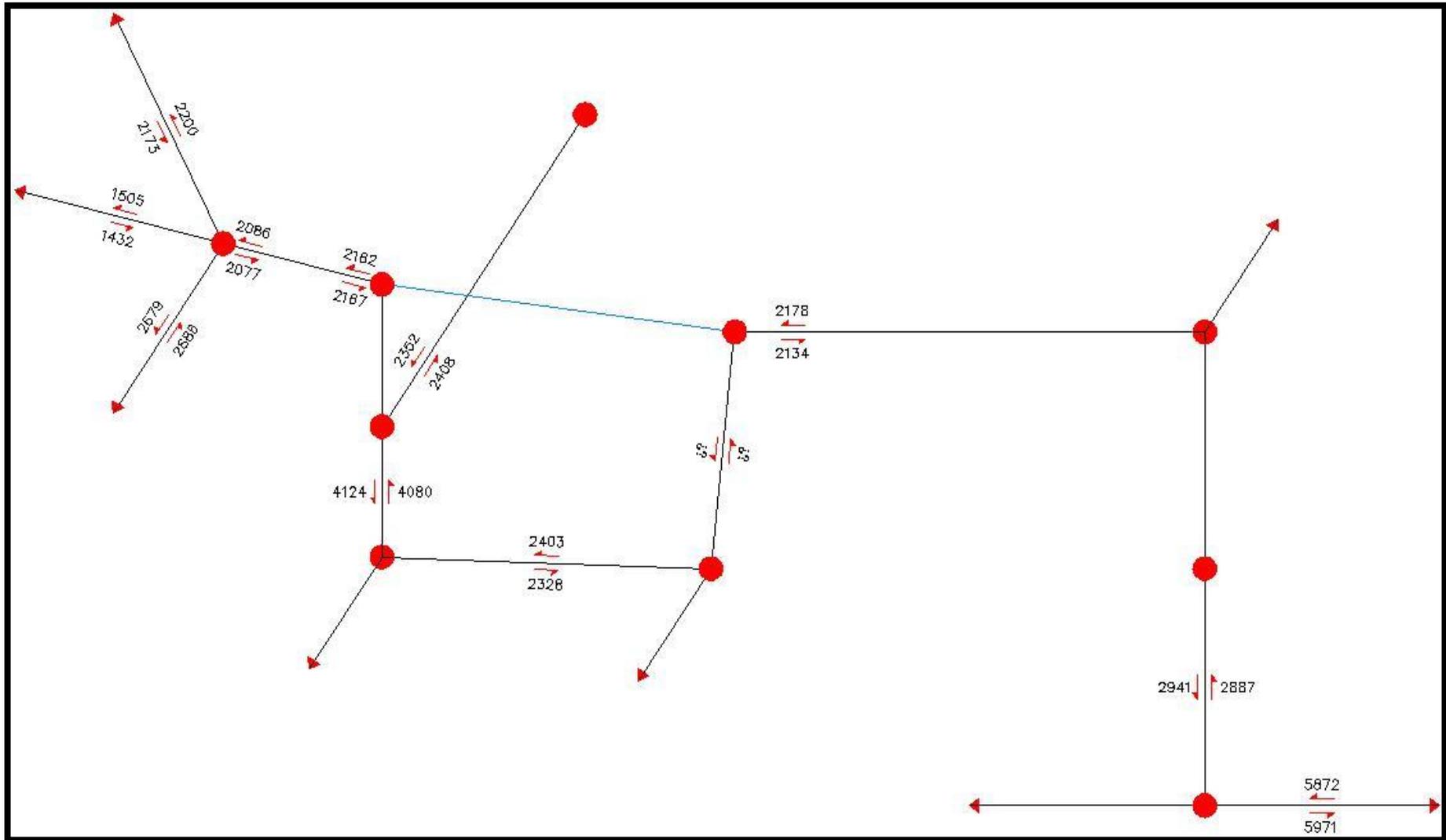


Figura 3: Tránsito promedio diario por sentido por tramo de ruta, según los datos medidos por el LanammeUCR.

No fue posible obtener datos sobre la Ruta 126 entre San Carlos y La Virgen, las condiciones en el sitio sugieren que debería haber un flujo muy similar al de la Ruta 4 entre Puerto Viejo y Chilamate.

En un caso similar, no se realizó un conteo en la Ruta 751 entre Vuelta de Kooper y Los Chiles de Aguas Zarcas, sin embargo, las condiciones en el sitio sugieren que debería haber un flujo muy similar al de la Ruta 4 entre el Muelle y Vuelta de Kooper.

Para poder compararlos se deben tomar en cuenta la siguiente consideración: el flujo vehicular determinado por el MOPT tuvo que ser proyectado geométricamente al 2013, dado que no se cuenta con suficiente información para aplicar otras metodologías, con una tasa de crecimiento del 5%, según lo establecido por la Dirección de Planificación Sectorial del MOPT para este proyecto. En el Cuadro 4, se resumen los resultados en el año base (2013) y los valores dados por el MOPT en 2007, para cada una de las rutas dentro del área en estudio.

Cuadro 4: Comparación de flujos vehiculares estimados por LanammeUCR y el MOPT para la condición sin proyecto.

Ruta	MOPT	MOPT	LanammeUCR
	2007	2013 (*)	2013
Ruta 751	2893	3877	4329
Ruta 250	5724	7671	8204
Ruta 140	3936	5275	4731
Ruta 126	1547	2073	4312

Nota: (*) El valor del año 2013 es un valor proyectado con una tasa del 5% y por el modelo geométrico.

Comparando las columnas "Lanamme 2013" y "MOPT 2013" se obtienen los siguientes porcentajes de diferencia:

- Ruta 751: 11,66%
- Ruta 250: 6,95%
- Ruta 140: 10,31%
- Ruta 126: 107,99%

El porcentaje de diferencia en la Ruta 126 es significativamente alto, el cual representa unos 2239 vehículos de diferencia entre ambos conteos. Esta diferencia puede atribuirse a que se está usando un conteo que no fue medido directamente de dicha ruta, sino que se tomó en la sección de control No. 40460 (Puerto Viejo de Sarapiquí -Bajos de Chilamate) de la Ruta 4 y se supuso un comportamiento similar en ese tramo. Este comportamiento se puede verificar en el Anuario de Tránsito de la Dirección de Planificación sectorial del MOPT (MOPT, 2012).

El diferencial asociado a la tasa de crecimiento del 5% es de 19,94%, lo que significa que el MOPT calcula un total de 3768 vehículos menos de los que contó LanammeUCR en el 2013 para los tramos analizados.

3.1 SITUACIÓN CON PROYECTO PROYECCIÓN A 12 AÑOS, AÑO 2025.

ESCENARIO 1: RESULTADOS MOPT

En el oficio DP–2007–323 se indica que el TPD de la carretera Chilamate – Vuelta de Kooper sería de 3960 vehículos por día en el 2007, y que con la construcción del proyecto ese volumen aumentaría en un 30%, alcanzando los 5148 vehículos por día en el año 2007. Estos valores, proyectados al 2013 con una tasa de crecimiento del 5% por medio de un modelo geométrico, se convierten en 5307 para la condición base y 6899 vehículos por día para la condición con proyecto. Ver cuadro Cuadro 5.

Posteriormente, estos valores vuelven a proyectarse para obtener el TPD del año 2025, ya que el periodo de diseño del proyecto es de 12 años, como se muestra en el Cuadro 5. La distribución por tipo de vehículo para este escenario se muestra en el Cuadro 6, según los porcentajes del oficio DP–2007–323.

Cuadro 5: Escenario 1, con resultados del MOPT

Año	Sin Proyecto		Con Proyecto	
	2013	2025	2013	2025
TPD	5307	9530	6899	12389

Cuadro 6: Distribución por tipo de vehículo del TPD para el Escenario 1

	Autos	Buses	Carga Liviana	2 Ejes	3 Ejes	5 Ejes	Total
Porcentaje	38.58%	4.18%	18.95%	11.46%	4.72%	22.10%	100.00%
TPD	4780	518	2348	1420	585	2738	12389

ESCENARIO 2: RESULTADOS LANAMME UCR

La evaluación de los resultados del TPD para la condición sin proyecto entre Chilamate y Vuelta de Kooper se realizó a partir un muestreo de tránsito, debido a que no se cuenta con las entrevistas realizadas por el MOPT, mencionadas en el oficio DP-2007-323.

A raíz de esta situación, se decidió determinar el TPD del nuevo tramo como la suma de los vehículos que viajan al oeste desde Chilamate (sección de control 40460) y los que viajan al este desde Vuelta de Kooper (sección de control 21560), que corresponden a 2178 y 2167 vehículos por día respectivamente, ambos valores tomados de las mediciones del LanammeUCR en el año 2013.

La evaluación del TPD bajo esta condición se realizó para conformar un escenario bajo la hipótesis de que los usuarios potenciales del tramo en construcción de la Ruta 4, serán solamente aquellos con origen y destino entre Chilamate y Vuelta de Kooper y otras localidades más alejadas a las que se comunica por medio de la Ruta 4.

En este escenario se trata de no tomar en consideración el efecto de los viajes con origen y destino en Ciudad Quesada, Pital, Aguas Zarcas, San Miguel y Cariblanco (Ver Figura 2), que eventualmente podrían utilizar tramo en construcción y consecuentemente tener un impacto en el TPD, esto con el objetivo de valorar el efecto de generación de viajes de estas zonas.

En el Cuadro 7, se muestran los resultados de las proyecciones de TPD realizadas para este escenario y en el Cuadro 8 se muestra la distribución por tipo de vehículo según los porcentajes del oficio DP-2007-323.

Cuadro 7: Escenario 2, con resultados del LanammeUCR.

Condición	Sin Proyecto		Con Proyecto		
	Año	2013	2025	2013	2025
TPD		4345	7803	5649	10144

Cuadro 8: Distribución por tipo de vehículo del TPD para el Escenario 2

	Autos	Buses	Carga Liviana	2 Ejes	3 Ejes	5 Ejes	Total
Porcentaje	38.58%	4.18%	18.95%	11.46%	4.72%	22.10%	100.00%
TPD	3914	424	1922	1163	479	2242	10144

ESCENARIO 3: RESULTADOS LANAMMEUCR CON PROCEDIMIENTO DEL MOPT

El procedimiento esquematizado en el oficio **DP-2007-323**, indica que el 30% de tránsito atraído por el proyecto proviene de las Rutas 140 y 126, por lo que en este escenario se trató de reproducir ese supuesto, es decir, tomando el 69,2% de la Ruta 126 y el 73,4% de la Ruta 140 para determinar el TPD que transitaría por la carretera Chilamate – Vuelta de Kooper. De forma similar a los escenarios anteriores, se proyectaron esos valores al año 2025, en el Cuadro 9 se muestran los resultados de las proyecciones y el

Cuadro 10 la distribución por tipo de vehículo según los porcentajes del oficio DP-2007-323.

Cuadro 9: Escenario 3, con resultados de TPD con los conteos del LanammeUCR con procedimiento del MOPT

Condición	Sin Proyecto		Con Proyecto	
Año	2013	2025	2013	2025
TPD	6456	11594	8393	15073

Cuadro 10: Distribución por tipo de vehículo del TPD para el Escenario 3.

	Autos	Buses	Carga liviana	2 Ejes	3 Ejes	5 Ejes	Total
Porcentaje	38.58%	4.18%	18.95%	11.46%	4.72%	22.10%	100.00%
TPD	5815	630	2856	1727	711	3331	15073

3.2 ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA VÍA

La metodología de cálculo de capacidad para carreteras de dos carriles dio como resultado un valor de 2720 vehículos equivalentes, considerando el valor FHMD y obtenido a partir de los recuentos en las estación 61 mostrada en el Cuadro 1: Ubicación de las estaciones de aforo.

En el Cuadro 11, se muestran los resultados del cálculo capacidad luego de aplicar la ecuación (1), que dio como resultado un valor de 2890 vehículos equivalentes de pasajeros por hora (pcph) considerando ambas direcciones de circulación. Este valor de capacidad convertido a TPD de saturación por medio de la ecuación (2), da como resultado 23828 vehículos por día.

Cuadro 11: Resultados del cálculo de capacidad.

Parámetro	Valor	Observaciones
Capacidad Ideal	3400	pcph (2 direcciones)
%Camiones	57%	Según oficio DP-2007-323
%Buses	4%	
%Livianos	39%	
fg (ATS)	1	Ver TRB, 2010
ET	1.3	
fhv (ATS)	0.85	Factor de ajuste por pesados
Capacidad calculada C	2890	Ecuación (1)
FHP	0.97	Estación No. 61
K (FHMD)	0.1	
D	0.50	
V	2383	Ecuación (3)
TPD (saturación)	23828	vpd

3.3 COMPARACIÓN DE LOS ESCENARIOS.

En el Cuadro 12 se resumen para fines comparativos los resultados de TPD al final del periodo de diseño de 12 años para las condiciones "con proyecto" y "sin proyecto".

En el escenario 2 se obtuvo como resultado un valor de TPD de 5649 para el año 2013 y de 10144 para el año 2025, para la condición "con proyecto", los cuales son menores en un 18% a los resultados obtenidos en el escenario 1. Esta situación permite suponer que los valores del oficio **DP-2007-323**, podrían ser suficientes para contemplar la posibilidad de que ocurra el fenómeno de atracción de viajes de otras zonas hacia el tramo en construcción.

Por otro lado, en el escenario 3 se obtuvo un TPD de 8393 para el año 2013 y 15073 para el año 2025 en la condición con proyecto. Al comparar estos valores con el escenario 1, se obtiene un porcentaje de diferencia del 22% por debajo de la estimación que realizarían los datos del MOPT.

Es importante recordar que el escenario 3, emula el procedimiento utilizado por el MOPT donde el volumen de tránsito atraído se toma de las Rutas 140 y 126, pero con los flujos medidos en el muestreo realizado por LanammeUCR en el 2013, de ahí que se obtenga un mayor valor de TPD.

La comparación de los valores de TPD calculados para cada escenario se mantienen por debajo del valor del TPD de saturación obtenido a partir de la capacidad calculada para este tramo de carretera mostrado en el Cuadro 11 de la sección 3.2, por lo que los supuestos empleados no provocan una sobrestimación del tránsito proyectado.

Cuadro 12: Comparación entre los escenarios

Escenario	Sin Proyecto		Con Proyecto	
	2013	2025	2013	2025
1	5307	9530	6899	12389
2	4345	7803	5649	10144
3	6456	11594	8393	15073

4 CONCLUSIONES

Una vez realizada la información aportada sobre la estimación del TPD del proyecto "Construcción de la Ruta Bajos de Chilamate-Vuelta de Kooper. Licitación Pública No. 2011LI-000037-32702", se concluye lo siguiente:

La estimación de la demanda de tránsito del proyecto (TPD en este caso) indicada en el oficio **DP-2007-323**, se basó en información recolectada a partir de encuestas y de la valoración del tiempo de viaje. Sin embargo, el oficio no es específico en cuanto a la definición del modelo y supuestos utilizados para reproducir los resultados. Esta situación limita la posibilidad de realizar una actualización o validación de los resultados.

El oficio **DP-2007-323** recomienda el uso de un 30% de incremento por tráfico atraído dado que es un valor típico para este tipo de proyectos (sin especificar el tipo). Este valor se aplica de forma global al TPD del año base en la condición "sin proyecto" para posteriormente, proyectar el TPD para la condición "con proyecto" sin hacer salvedad sobre el efecto que podría tener un posible incremento en la cantidad de vehículos de carga pesada fue considerado en la estimación de la demanda, dado que la sección de carretera a construir pertenece al "Corredor Atlántico" de la Red Internacional de Carreteras Mesoamericanas (RICAM), que tiene como objetivo unir la ciudad de Coatzacoalcos en México con de Bocas del Toro en Panamá, para favorecer el intercambio comercial de la región.

La comparación de los valores de TPD proyectados en los tres escenarios planteados permite concluir que estos se encuentran por debajo del TPD de saturación de la vía, obtenido a partir de la capacidad una carretera de dos carriles. Sin embargo, es importante recordar la capacidad tiene una relación inversa al porcentaje de vehículos pesados, por lo que una valoración deficiente del tránsito pesado atraído al proyecto, tanto nacional como internacional, podría afectar prematuramente el nivel de servicio de la carretera.

Los resultados obtenidos de la revisión de la proyección del TPD del proyecto, realizada a partir de los conteos realizados en campo y la metodología indicada en este informe, se encuentran un 22% (2683 vehículos por día) por encima de valor declarado en el oficio **DP-2007-323**.

Informe LM-PI-USVT-002-14	Fecha de emisión: 22 enero de 2014	Página 26 de 33
---------------------------	------------------------------------	-----------------

5 RECOMENDACIONES

Es indispensable que la Administración, por medio del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, defina los lineamientos para la estimación de la demanda de tránsito de los proyectos de construcción de carreteras de la Red Vial Nacional, y que estos sean incluidos dentro de los procesos de contratación como parte de los estudios a realizar.

Los lineamientos deben considerar las particularidades de cada proyecto desde la fase de planificación a nivel de red hasta la fase de diseño y unificar criterios en cuanto a la confiabilidad de la estimación de la demanda, tomado en consideración que a partir de este parámetro, se realiza la evaluación de la factibilidad de los proyectos viales y se definen otras características del proyecto.

Del igual forma, se recomienda que el MOPT dote a la Dirección de Planificación Sectorial con herramientas que permitan modelar la demanda de proyectos, a partir de una base de datos de los parámetros de tránsito de las vías.

La estimación del TPD de este proyecto debe también verificarse por medio de métodos econométricos, como por ejemplo los basados en el producto interno bruto (PIB), dado que no se dispone de series históricas para realizar una estimación más precisa.

REFERENCIAS

MOPT, (2012). Anuario de Datos de Tránsito. Dirección de Planificación Sectorial.

Roess, R. Prassas, E. McShane, W. (2011). Traffic Engineering. 4th Edition, Editorial Pearson

SIECA, (2011). Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras. 3ra. Edición.

Transportation Research Board (TRB), (2010). Highway Capacity Manual 2010. Washington D.C. Editorial The National Academy of Science.

ANEXO

Se adjunta disco compacto con los conteo

FROM :

PHONE NO. : 2578098

00621

Jun. 13 2007 04:32PM P1

DIRECCIÓN DE PLANIFICACION SECTORIAL
 Tel.: 523-20-37, fax: 2038-2730, Fax.: 257-80-98
 Correo electrónico: Dirplan@racsa.co.cr

mopt
 Ministerio de Obras Públicas y Transportes

12 de junio del 2007

DP-2007-323

Ingeniero
 Víctor Zamora Ureña
 Empresa CACISA
 Fax: 244-13-85

CACISA

RECIBIDO POR: Nannia
 Fecha: 12-06-07
3:38pm

Estimado señor:

Me refiero a su consulta telefónica en relación con la asignación del tránsito para el proyecto de carretera Vuelta Kopper-Bajos de Chilamate.

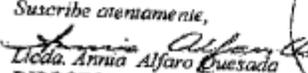
Al respecto le informo que para tal efecto, se realizó una revisión a los cálculos iniciales de lo cual se concluye:

Tomando como variable de referencia el tiempo de viaje entre diferentes orígenes y destinos de una red esquemática y considerando información de 3588 entrevistas, se determina que el tránsito promedio diario (TPD) que utilizará el nuevo proyecto será de 3960 vehículos diarios en el 2007, esto en lo que a tránsito normal se refiere. Por otra parte, se debe considerar el tránsito que se generará eventualmente al entrar a operar la vía, dado el crecimiento en la producción y el turismo que está experimentando su zona de influencia. Es importante señalar, que no obstante, ser difícil la estimación de un potencial incremento, se recomienda a su empresa, añadir al tránsito antes citado, una cifra conservadora de 30% por concepto de tránsito generado, que es lo que normalmente se acostumbra en este tipo de proyectos. Esto implica que el tránsito ascendería a 5148 vehículos diarios en el 2007. La clasificación vehicular sería la siguiente:

Autos	Buses	Cercos Livianos	2E	3E	4E
35,08	4,79	78,95	11,46	4,72	22,70

En hojas adjuntas se muestra la red esquemática de análisis, con los tránsitos sin y con proyecto; además de las estaciones de recuento de tránsito en la zona aledaña, con sus respectivas tasas de crecimiento.

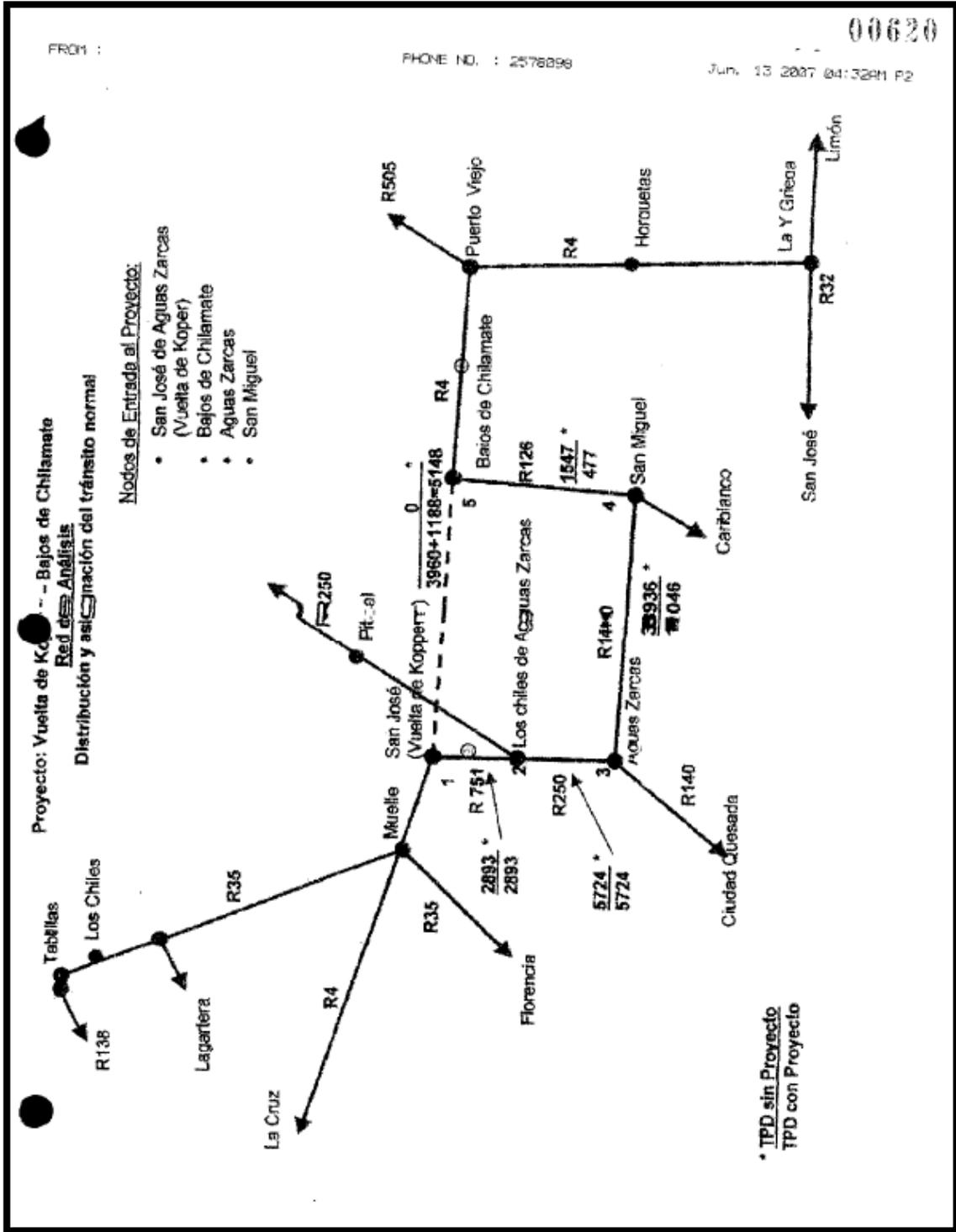
Finalmente, le solicito sustituir el Oficio DP-2007-313 del 03 de junio pasado con la presente nota.

Suscribe atentamente,

 Lidia Alfaro Guesada
 DIRECTORA

Co:



Ing. Carlos Acosta Monge, Unidad Ejecutora Costanera Sur, MOPJ.
 Lidia Sayra Dávila Sáiz, Jefe Asesoría de Transporte, Planificación Sectorial, MOPJ.
 Sr. José Manuel Hernández Monge, Unidad de Apoyo Logístico, Planificación Sectorial, MOPJ.
 Archivo-copiador



Tránsito Promedio Diario (TPD) de estaciones de recuento cercanas al Proyecto Bajos de Chilamate-Vuelta Kooper
Año: 2006

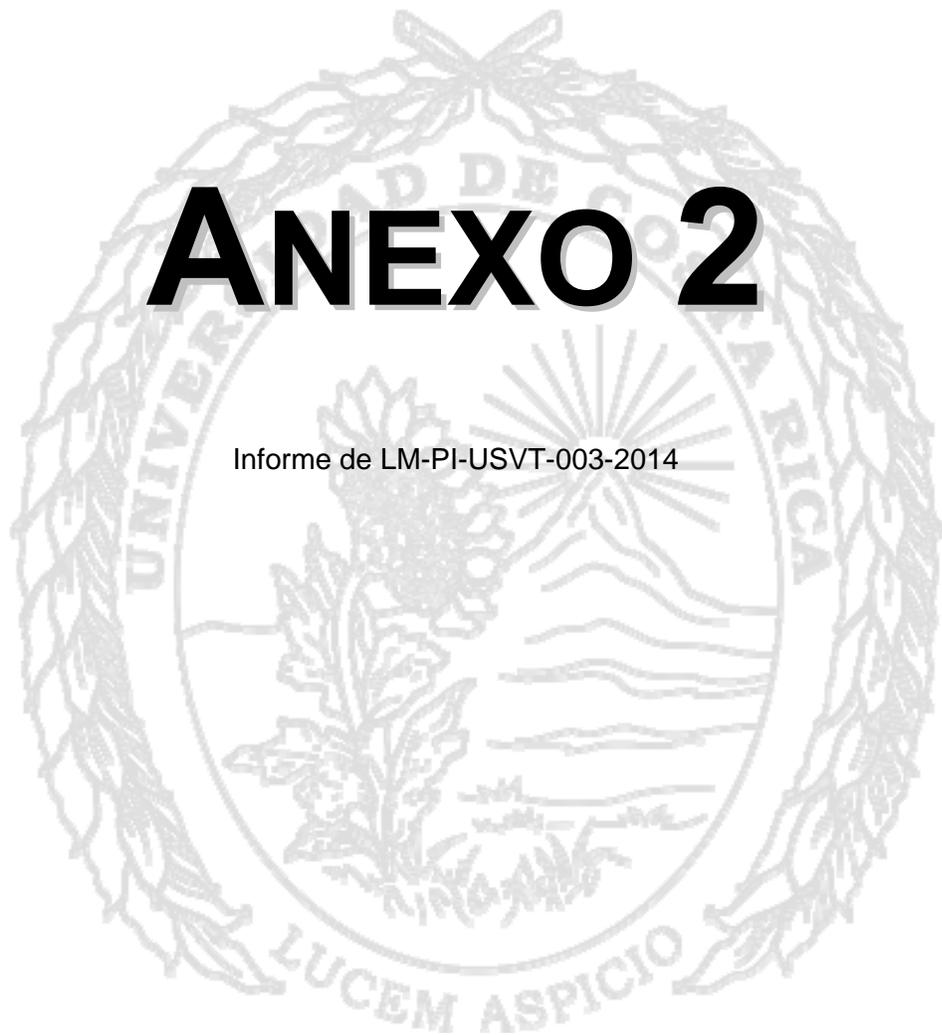
Número Ruta	Número estación	Ubicación	TPD 2006	Porcentaje					% Aumento		
				Autos	Carga Liv	Buses	2 Ejes	3 Ejes		5 Ejes	Total
4	182	PUERTO VIEJO - CHILAMATE	2614	41,33	31,9	4,8	12,45	3,5	6,02	100	5
4	191	VUELTA KOOPER - RUELLE	2080	37,1	33,18	4,3	11,6	5,95	7,87	100	5
126	704	BAJOS DE CHILAMATE - SAN MIGUEL	2645	66,37	22,83	2,7	8,22	1,91	6,97	100	5
140	250	AGUAS ZARCAS - SARAPIQUI	3915	53,88	26,44	1,9	16,34	2,88	4,86	100	5
146	535	CUIDAD GUESADA - AGUAS ZARCAS	5745	49,79	34,96	3,51	9,16	1,85	1,33	100	5
259	277	AGUAS ZARCAS - LOS CHIFFE	4814	48,5	27,6	2,24	11,95	5,12	4,59	100	5

Fuente: Unidades de Apoyo Logístico, Planificación Sectorial, MOPT, mayo 2007



ANEXO 2

Informe de LM-PI-USVT-003-2014





LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES



programa de infraestructura
del transporte

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-USVT-003-14

EVALUACIÓN DE SEGURIDAD VIAL

Construcción de la Ruta Nacional No. 4, Bajos de Chilamate-Vuelta de Kooper Licitación Pública No. 2011 LI-000037-32702 (Etapa pre-construcción)

Preparado por:

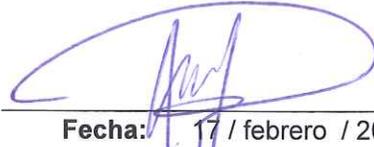
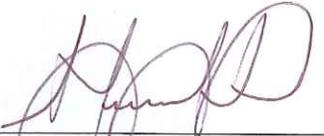
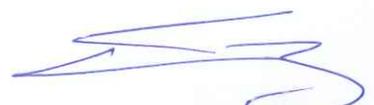
Unidad de Seguridad Vial y Transporte

San José, Costa Rica
Febrero, 2014

Documento generado con base en el Art. 6, inciso g) de la Ley 8114 y lo señalado en el Cap. IV, Art. 47 Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT.

Preparado por: Unidad de Seguridad Vial y Transporte del PITRA-LanammeUCR diana.jimenez@ucr.ac.cr



1. Informe LM-PI-USVT-003-14		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: EVALUACIÓN DE SEGURIDAD VIAL: Proyecto Bajos de Chilamate-Vuelta de Kooper, Ruta Nacional No. 4.		4. Fecha del Informe Febrero, 2014
7. 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		
8. Notas complementarias		
9. Resumen Se realiza una evaluación de seguridad vial de los planos de diseño geométrico del proyecto de construcción de la Ruta Nacional No. 4, tramo Bajos de Chilamate-Vuelta de Kooper. El informe surge como respuesta a la solicitud planteada, por la Unidad de Auditoría Técnica (UAT) del Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) mediante el memorando LM-UAT-02-2013. El proyecto se ubica entre los cantones Sarapiquí de Heredia y San Carlos de Alajuela, entre los poblados Bajos de Chilamate y Vuelta de Kooper respectivamente. El entorno de la vía es predominantemente rural, con amplias zonas dedicadas a cultivos agrícolas. El diseño geométrico mostró una buena consistencia con respecto a la expectativa del conductor, solo en un caso se obtuvo un tramo de consistencia local deficiente. La verificación del cumplimiento de normativa de diseño geométrico se considera aceptable. El principal incumplimiento está asociado con la distancia de visibilidad disponible y la requerida, dado que se determinaron varios tramos con limitaciones en este parámetro que podría afectar negativamente el nivel de seguridad del proyecto. Las principales recomendaciones son: realizar estudios de movilidad peatonal y de ciclistas para determinar la factibilidad de incorporar facilidades adicionales. Revisar la ubicación de las zonas de adelantamiento permitido y la señalización vial en aquellos puntos donde la distancia de visibilidad está por debajo del estándar de la vía. Debe tomarse en consideración que el alineamiento horizontal de este proyecto es predominantemente plano con algunas ondulaciones y pendientes, por lo que es posible que la velocidad de operación sea relativamente alta		
10. Palabras clave Seguridad vial, Chilamate-Vuelta de Kooper, consistencia, diseño geométrico, Ruta 4	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 54
13. Preparado por:		
Ing. Erick Acosta Hernández Unidad de Seguridad Vial y Transporte 	Ing. Federico Puscar Schapira Asistente Unidad de Seguridad Vial y Transporte 	
Fecha: 17 / febrero / 2014	Fecha: 17 / febrero / 2014	
14. Revisado por:		
Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal Externo LanammeUCR 	Ing. Diana Jiménez Romero, MSc, MBA Coordinadora Unidad de Seguridad Vial y Transporte 	15. Aprobado por: Ing. Guillermo Loría Salazar, Ph. D. Coordinador General PITRA 
Fecha: 17 / febrero / 2014	Fecha: 17 / febrero / 2014	Fecha: 17 / febrero / 2014

CUADRO DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	4
1.1 OBJETIVO DEL INFORME	4
1.2 ALCANCE DEL INFORME.....	4
1.3 ANTECEDENTES.....	6
1.4 METODOLOGÍA	6
1.5 CLASIFICACIÓN FUNCIONAL Y JERARQUÍA DE LA VÍA.....	7
2. MARCO TEÓRICO	11
2.1 ACERAS	11
2.2 SEÑALAMIENTO VIAL	12
2.3 BAHÍAS DE AUTOBUSES.....	13
2.4 TRÁFICO CALMADO	15
2.5 CONSISTENCIA DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA VÍA.....	18
2.6 VELOCIDAD DE DISEÑO Y DE OPERACIÓN	20
2.7 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LA CONSISTENCIA DEL DISEÑO GEOMÉTRICO	21
2.8 PROGRAMA IHSDM.....	24
3. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE SEGURIDAD VIAL	25
3.1 REVISIÓN DE NORMATIVA DE DISEÑO	25
3.2 ALINEAMIENTO HORIZONTAL.....	26
3.3 ALINEAMIENTO VERTICAL	28
3.4 DISTANCIA DE VISIBILIDAD DISPONIBLE Y REQUERIDA	30
3.5 DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO	36
3.6 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DEL DISEÑO GEOMÉTRICO	36
3.7 INTERSECCIONES.....	41
3.8 FACILIDADES PARA PEATONES Y CICLISTAS.....	41
4. CONCLUSIONES	44
5. RECOMENDACIONES	46
6. REFERENCIAS	47

INFORME DE EVALUACIÓN DE SEGURIDAD VIAL

"Construcción de la Ruta Nacional No. 4, Bajos de Chilamate-Vuelta de Kooper. Licitación Pública No. 2011 LI-000037-32702"

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de una evaluación de seguridad vial es identificar vulnerabilidades o riesgos potenciales de accidente para todos los usuarios de un tramo de carretera existente o en proyecto, con el fin de establecer un diagnóstico de su condición y valorar la necesidad de implementar medidas de mitigación.

Las evaluaciones de seguridad vial también son una herramienta que ayuda a asegurar que los aspectos de seguridad vial estén considerados en todas las etapas de un proyecto vial.

Para el caso de carreteras en construcción, se realizan evaluaciones de seguridad vial de la vía en la fase constructiva, de modo que se brinde a la Administración insumos para la mejora continua de la seguridad vial de la carretera antes de su apertura.

En las evaluaciones de seguridad vial que ejecuta el LanammeUCR, se comparan las prácticas que se realizan en Costa Rica con respecto a las mejores prácticas internacionales en el tema de seguridad vial y a la normativa existente, con el propósito de emitir recomendaciones para mejorar la Ingeniería de Transporte en Costa Rica en torno a la seguridad vial.

1.1 Objetivo del informe

El objetivo general de este informe es evaluar el diseño geométrico del proyecto Chilamate-Vuelta de Kooper en la Ruta Nacional No. 4 desde la óptica de la seguridad vial.

1.2 Alcance del informe

Esta evaluación se realiza a partir de los planos de diseño geométrico del proyecto elaborados para el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, por medio de la Licitación

Informe LM-PI-USVT-003-14	Fecha de emisión: 12 de febrero de 2014	Página 4 de 51
---------------------------	---	----------------

Pública Internacional "Construcción de la Ruta Bajos de Chilamate-Vuelta de Kooper. Licitación Pública No. 2011 LI-000037-32702" y las especificaciones técnicas del proyecto provistas por la Unidad de Auditoría Técnica.

El contenido del informe radica en la evaluación de dos ejes temáticos principales, los cuales se indican a continuación:

I. Seguridad vial del diseño geométrico

La evaluación del diseño geométrico comprende la valoración de la consistencia del diseño geométrico, la cual toma en cuenta características de los carriles de ascenso, visibilidad disponible en curvas verticales y horizontales, calidad del diseño de intersecciones con vías principales, facilidades para usuarios vulnerables y diseño de márgenes de la vía. Además, toma en cuenta los siguientes aspectos:

- Tipo de intersecciones y distancia entre ellas
- Número y tipo de carriles
- Composición del tránsito en la nueva carretera
- Funcionalidad de la carretera dentro de la Red Vial Nacional
- Condiciones meteorológicas
- Velocidad
- Secciones transversales
- Pendientes transversales y longitudinales
- Visibilidad
- Diseño de intersecciones
- Transporte público e infraestructuras
- Facilidades para usuarios vulnerables
- Cumplimiento de normativa vigente
- Tratamiento de márgenes de la vía
- Señalización y demarcación vial

II. Capacidad vial del diseño propuesto

Informe LM-PI-USVT-003-14	Fecha de emisión: 12 de febrero de 2014	Página 5 de 51
---------------------------	---	----------------

La evaluación de la capacidad se realiza para determinar el nivel de servicio que el diseño geométrico le ofrece a los usuarios de la vía, partiendo del principio de que una vía congestionada aumenta el riesgo de que los usuarios de la vía realicen maniobras temerarias.

Este tema fue abordado previamente en el informe LM-PI-USVT-002-14 titulado "Revisión de la estimación del Tránsito Promedio Diario Proyecto "Construcción de la Ruta Nacional No. 4, Bajos de Chilamate-Vuelta de Kooper (LanammeUCR, 2014), por lo que su contenido no se incluye en este informe.

1.3 Antecedentes

El informe consiste en la evaluación de seguridad vial de los planos de diseño geométrico del proyecto de construcción de la Ruta Nacional No. 4, tramo Bajos de Chilamate-Vuelta de Kooper. Este informe surge como respuesta a la solicitud planteada, por la Unidad de Auditoría Técnica (UAT) de Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) mediante el memorando LM-UAT-02-2013, con fecha 30 de enero de 2013.

La información aportada por la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR consiste en los planos finales de diseño geométrico y señalización vial del proyecto solicitados a la Unidad Ejecutora del proyecto mediante oficio LM-AT-032-2013 del 15 de abril del 2013.

1.4 Metodología

El contenido del informe, como se mencionó en el apartado 1.2, radica en la evaluación de dos ejes temáticos; a continuación se explica la metodología utilizada para cada uno:

- Evaluación de seguridad vial del diseño geométrico:
La evaluación del diseño geométrico se efectuó a partir de criterios de consistencia de velocidad de operación y de diseño para carreteras de dos carriles, y utilizando como herramienta el programa de computo IHSDM versión 7.0.

Adicionalmente, se realizó una revisión del cumplimiento de normativa de diseño geométrico según la metodología de diseño definida en los términos de referencia del cartel.

- Capacidad vial de la carretera:

La metodología para evaluar la capacidad de la vía es la definida en el Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos, HCM por sus siglas en inglés (TRB, 2010). La metodología utilizada se puede consultar en el informe LM-PI-USVT-002-14 (LanammeUCR, 2014).

Como complemento para realizar esta evaluación de seguridad vial se realizaron giras de campo los días 13, 14, 26 de junio y del 10 al 11 de setiembre del año 2013.

1.5 Clasificación funcional y jerarquía de la vía.

El proyecto consiste de la construcción de una carretera de dos carriles, uno por sentido, en un tramo de 27,09 kilómetros de la Ruta Nacional N° 4, que se ubica entre los cantones Sarapiquí de Heredia y San Carlos de Alajuela. Inicia en el tramo existente de la Ruta Nacional N° 4, en el poblado de Bajos de Chilamate (Estación 0+000), y finaliza en la intersección de la Ruta Nacional N° 4 con la Ruta Nacional N° 751 (Estación 27+090) cerca del poblado de Vuelta Kopper. El entorno de la vía es predominantemente rural, con amplias zonas dedicadas a cultivos agrícolas.

Las especificaciones del diseño geométrico del proyecto y su sección transversal típica se muestran en el Cuadro 1 y la Figura 1 respectivamente.

Cuadro 1 Características del proyecto de diseño geométrico

Tipo de carretera	Troncal Rural	
Terreno	Ondulado - Plano	
Velocidad del proyecto	100	km/h
Radio mínimo base	400	m
Radio mínimo específico	420	m
Ancho de la calzada	7,6	m

Las características funcionales de la vía especificadas por MOPT (2011), la clasifican como "Troncal-Rural", que según SIECA, (2004) son carreteras que constituyen los ejes principales y de mayor significación en la estructura de la red regional centroamericana. La velocidad de diseño utilizada para definir sus características geométricas varía entre los 80 km/h y los 60 km/h en función de la topografía del terreno.

Por otro lado, el Plan Nacional de Transporte 2011-2035 (PNT), elaborado por INECO (2011) para el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, ha definido que la Ruta Nacional No. 4, incluyendo el tramo Vuelta de Kooper - Chilamate, pertenece a la Red Vial de Alta Capacidad cuyo objetivo es conducir los principales tráfico nacionales e internacionales. La Ruta Nacional No. 4, forma parte del denominado Corredor Norte-Caribe, conformado por las zonas aledañas a Peñas Blancas, San Carlos, Moín, Limón y Sixaola. y favorecer el desarrollo de las plantaciones agrícolas de la zona norte.

En el PNT 2011- 2035 también se definen las características geométricas generales de las carreteras pertenecientes a la Red de Alta Capacidad que corresponden a una velocidad de proyecto (diseño) de 120 km/h, pendiente longitudinal máxima del 6%, y una sección transversal como la mostrada en la Figura 2.

Al comparar los estándares de diseño requeridos por INECO (2011) y los mostrados en el Cuadro 1, resulta evidente la conclusión de que la vía en etapa constructiva es de características geométricas menores que la propuesta en el PNT 2011-2035, en cuanto a la cantidad de carriles y la velocidad de diseño.



Figura 2 Secciones transversales típicas para la Red de Alta Capacidad.
Nota: Tomado de INECO, (2011)

2. MARCO TEÓRICO

En esta sección se desarrollan los temas que dan fundamento a las observaciones planteadas en el apartado de Resultados de la Evaluación de Seguridad Vial. Los conceptos enunciados obedecen a las buenas prácticas de la ingeniería y de la seguridad vial, recopilados a partir de la investigación bibliográfica y del criterio técnico del equipo evaluador.

2.1 Aceras

Las aceras y pasos peatonales proveen movilidad, seguridad y accesibilidad a los peatones. Reducen la incidencia de atropellos, separan el flujo de peatones de la corriente vehicular (ITE, 1998).

Se recomienda que las aceras se construyan a ambos lados de la vía, en zonas residenciales y en vías donde el flujo peatonal sea considerable. El uso del suelo, así como las características de la carretera y la densidad de viviendas, deben considerarse para determinar si deben construirse aceras (ITE, 1998).

En Centroamérica, se recomienda construir aceras en las calles y en las carreteras que carezcan de espaldón (SIECA, 2001). El ancho de las aceras puede variar entre 1m y 2m, según el tipo de carretera.

Respecto a la protección de usuarios vulnerables en los puentes, en el “Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales” (SIECA, 2001), en el Capítulo No 8, se establece:

“...En los puentes deben proveerse aceras protegidas por barreras resistentes al impacto vehicular para la circulación de peatones y para la circulación de estos en combinación con ciclistas, toda vez que sea posible separar en forma segura

ambos movimientos. Se recomienda que la acera peatonal en los puentes esté a no menos de 1,5m de la barrera mencionada...”

2.2 Señalamiento vial

La forma de regular el uso del espacio vial por parte de los peatones y ciclistas es a través de algunas señales y regulaciones específicas. Específicamente, en el caso de señales verticales, existen las señales del tipo R-7-12, R-7-13, R-7-14, R-7-15, (SIECA, 2000). También se utiliza la serie de señales R-11-1 a R-11-18, para regular la circulación de peatones y ciclistas en los cruces peatonales.

Para prevenir a los conductores sobre la presencia de peatones y ciclistas en la vía, el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (SIECA, 2000) contempla las señales P-9-1 a P9-10, además de señales específicas para las rutas de bicicletas. El uso de señales que advierten de la presencia de ciclistas o peatones, disminuye los atropellos entre un 20% y un 30% (TAC, 2004).

Respecto al señalamiento horizontal, se establece el uso de líneas de pasos peatonales donde puedan presentarse conflictos entre los movimientos de vehículos y peatones. Se utiliza el tipo “Cebra” cuando hay un alto volumen de peatones o donde no es fácil identificar la presencia del cruce. Se ha demostrado que el hecho de demarcar un paso peatonal, provoca una disminución entre 10% y 50% de los atropellos (TAC, 2004).

Autores como Holland y Hill (2007), señalan que los elementos de seguridad hacen que se perciba un menor riesgo que el real. Es un comportamiento conocido que los peatones experimentan un falso sentimiento de seguridad cuando están “protegidos” por señalización, como también, que las personas cruzan con más cuidado cuando no existen facilidades peatonales (Ekman, 1996). De acuerdo con lo anterior, además de proveer facilidades peatonales, debe hacerse una campaña de educación vial para mejorar el comportamiento de los usuarios.

2.3 Bahías de autobuses

La localización de las bahías de autobús debe hacerse de modo que interfiera en lo menos posible el funcionamiento vial (SIECA, 2001), por lo que para el caso de intersecciones y puntos donde se concentra movimiento de peatones, es necesario realizar un estudio para determinar la ubicación de la bahía, considerando las características de la intersección y de los movimientos que se producen.

Las bahías de autobús se deben construir separadas de la calzada, en concordancia con la seguridad vial de los usuarios de la vía y del bus, debe proveer protección a los usuarios mientras esperan el bus. Deben contar con carriles de aceleración y deceleración, rampas para el acomodo de los buses y el acceso fácil de los pasajeros, aceras de suficiente ancho para la demanda de pasajeros, casetas para protección de la intemperie y demás accesorios como bancas, gradas, pasamanos y facilidades para personas con discapacidad (SIECA, 2001).

En la Figura 3, se presenta el detalle de una bahía para autobús cuando no existe un separador entre la calzada y la bahía. Se debe utilizar la relación 3 a 1 en la longitud de entrada y 5 a 1 en la longitud de salida. Las dimensiones típicas para las bahías dependen de la cantidad de autobuses que se deban resguardar en la bahía (SIECA, 2001).

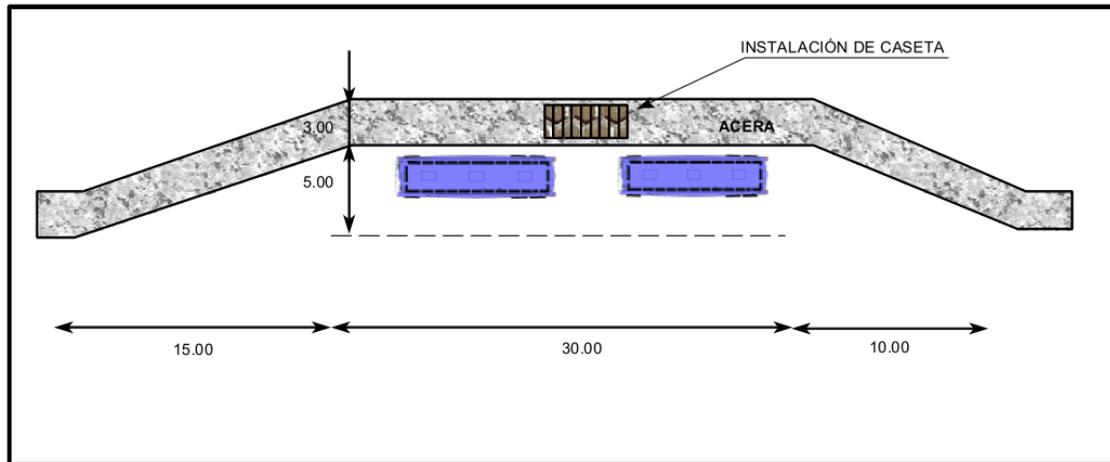


Figura 3 Esquema de una bahía de autobuses sin separador.

Nota: Tomada de SIECA, 2001.

Mesoamérica tiene un rezago en políticas nacionales que apoyen la inversión en transporte público (OPS, 2009). Es necesario que se inviertan recursos en este tema, dado que muchos de los viajes en las carreteras de la Región se realizan en transporte público y debe proveerse seguridad vial a sus usuarios.

En las Figuras 4 y 5 se muestran dos ejemplos de paradas de autobuses que se han adecuado para personas discapacitadas y, en general, para comodidad y seguridad de todos los usuarios; incluyendo los accesos hacia desarrollos aledaños (continuidad a través de aceras, pasos peatonales, etc.) La presencia de obstáculos y desniveles limita a las personas con problemas de movilidad, no pudiendo hacer uso, en muchos casos, del servicio de transporte público, el cual debe ser accesible para toda la población (LanammeUCR, 2009).



Figura 4 Accesibilidad hacia parada de autobús.

Nota: Tomada de www.bususers.org

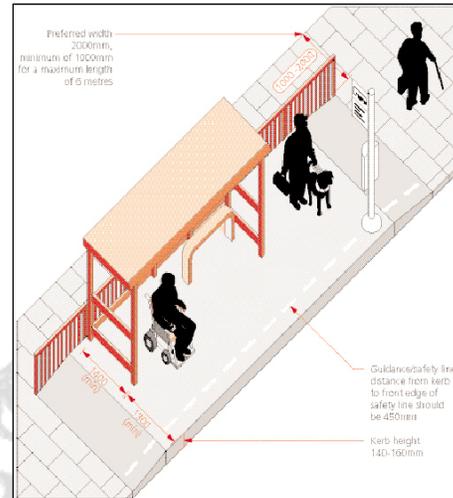


Figura 5 Esquema y dimensiones de parada de autobús

Nota: Tomada de www.dft.gov.uk

Además de las facilidades para el tránsito de los usuarios, las bahías de bus deben contar con la iluminación, de modo que se contribuya con la seguridad ciudadana.

2.4 Tráfico calmado

La probabilidad de muerte de un peatón, está relacionada con la velocidad a la que se produce el atropello (Rosén, 2009). Tal como se indica en la Figura 6 hay una probabilidad mayor de 80% de que ocurra una fatalidad si el atropello se produce a una velocidad de 60km/h.

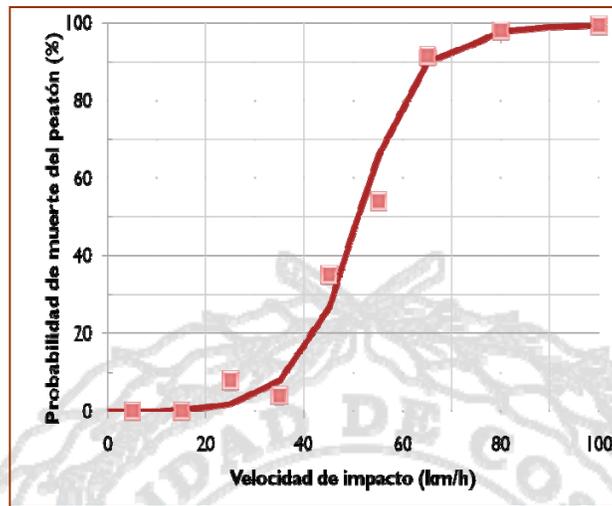


Figura 6 Probabilidad de muerte en función de la velocidad a la que se produce un atropello.

Nota: Tomada de Rosén et al., 2009

Una reducción en la velocidad de 1,6km/h puede reducir los accidentes en un promedio de 5%, mientras que un aumento en la velocidad puede aumentar los accidentes en 19% (CONASET, 2010).

Las principales ventajas de la reducción de velocidad en áreas residenciales o con gran actividad peatonal son: aumento en la visual lateral de los conductores, disminución de la probabilidad de fallecer en caso de atropello y aumento en la probabilidad de frenar a tiempo.

Para justificar la implementación de medidas para reducir la velocidad (medidas de “tráfico calmado”), se debe recolectar información de la cantidad de accidentes, la cantidad y tipo de usuarios que fallecieron en accidentes provocados por la velocidad, edad y género de las víctimas, tipo de carretera, volumen vehicular, velocidad de operación, límites de velocidad, entre otros (Global Road Safety Partnership, 2008).

Las propuestas de “tráfico calmado” incluyen modificaciones verticales u horizontales de la superficie y trazado de la vía?, uso de elementos que inciden en la percepción del conductor y medidas de gestión de tránsito.

Dentro de las medidas para calmar el tráfico de deflexiones verticales se incluyen los reductores de velocidad tipo lomo, tachuelones o trepidadores (SIECA, 2000). El diseño de dichos elementos debe garantizar que su construcción no constituya un peligro y que no produzca deterioro de los vehículos. En el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (SIECA, 2000) se detallan los requisitos para la instalación, así como el diseño de los distintos reductores de velocidad.

Las medidas para calmar el tráfico de deflexiones horizontales se refieren a estrechamientos o restricciones al ancho de la calzada, mini-rotondas, entre otras. Los estrechamientos disminuyen entre un 30% y un 50% los atropellos (TAC, 2004). Se ha demostrado que convertir en rotonda una intersección de prioridad de dos vías de doble sentido reduce los accidentes y las demoras. Los accidentes con muertos disminuyen en 45% y con lesionados en 35% (CONASET, 2010).

Respecto a los elementos que inciden en la percepción, existen los umbrales, las demarcaciones alertadoras, cambios de textura y colores. Los “umbrales” consisten en la instalación de señales verticales acompañadas de cambio de color en el pavimento y se pueden utilizar cuando exista exceso de velocidad al ingresar a una zona urbana o travesías en vías de zonas rurales (CONASET, 2010). En la Figura 7 se muestra un ejemplo de este tipo de dispositivos



Figura 7 Umbral utilizado para reducir velocidad.

Tomado de: CONASET, 2010

Las medidas de gestión de tránsito se refieren a modificación de prioridades en las intersecciones, sentido de las calles y uso de mini-rotondas en zonas urbanas.

2.5 Consistencia del diseño geométrico de la vía

El concepto de consistencia del diseño geométrico se encuentra relacionado con la coordinación que debe existir entre el alineamiento vertical y el horizontal en una carretera de dos carriles y la expectativa que se tiene sobre la respuesta exitosa del conductor ante los eventos y situaciones a los que se enfrentará a lo largo del trazado de la vía.

La evaluación de la consistencia del diseño geométrico de una carretera es una herramienta que examina o modifica el trazado de una vía en función de la consistencia del diseño con la expectativa del conductor (NCHRP, 2003). En la Figura 8, se muestra un gráfico de análisis de consistencia de velocidades en un tramo de carretera, se observa un perfil de velocidades y las variaciones de la velocidad de operación de cada elemento del trazado, con respecto a un valor de velocidad promedio dado (línea horizontal).

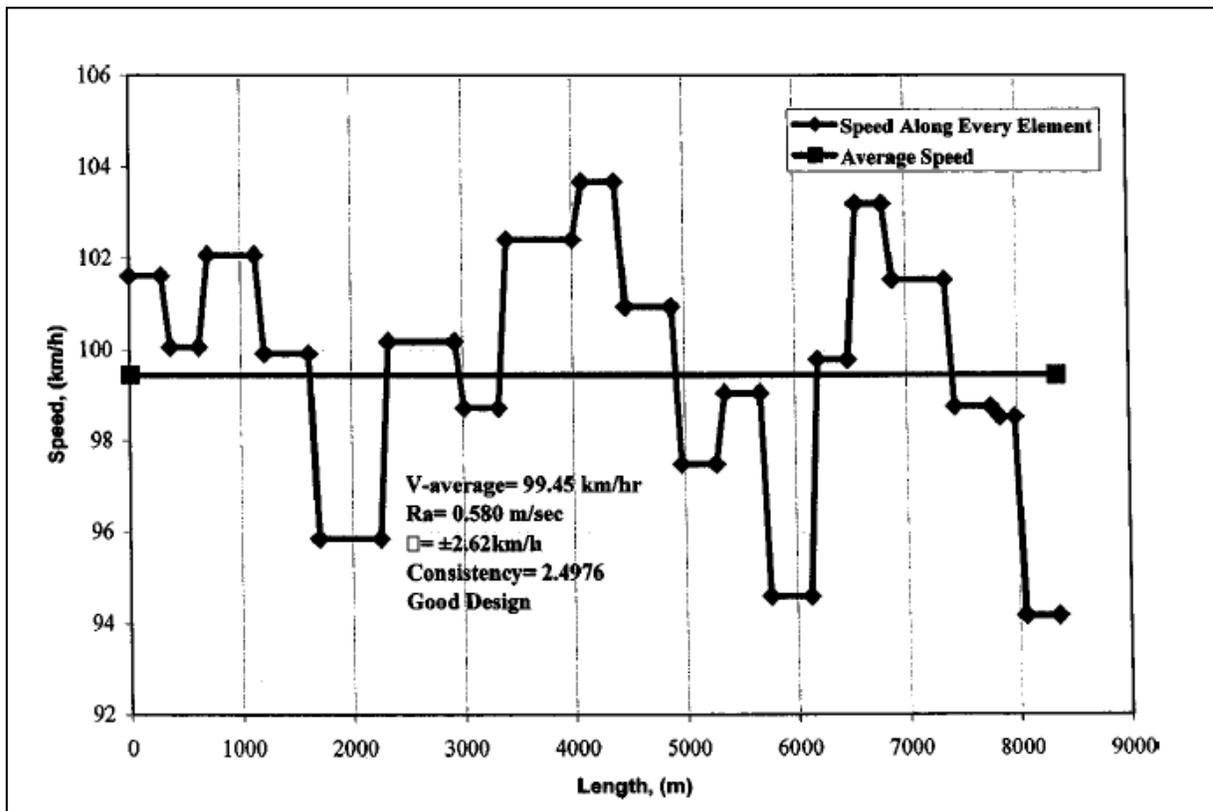


Figura 8 Gráfico de consistencia del diseño geométrico en un trazado de carretera.

Nota: Tomado de Polus (2004)

En países como Estados Unidos, la mayoría de los accidentes de tránsito ocurren en carreteras de dos carriles, los otros tipos de carretera como las autopistas y las carreteras multicarril, ofrecen un mayor nivel de seguridad (Lamm, et al, 1999). Las causas de estos accidentes frecuentemente se asocian a error humano por parte del conductor o a un diseño deficiente. Sin embargo, debido a la gran cantidad de factores que pueden incidir en la ocurrencia de un accidente no es posible diferenciar cuando un diseño es inadecuado, si este cumple o excede los estándares de diseño (NCHRP, 2003).

Una parte del problema está relacionada con la metodología de diseño, dado que los elementos de la carretera deben diseñarse de forma aislada, pero sin dejar de lado que la idea básica de que la carretera es una unidad conformada por varias partes: el conductor, la geometría y el entorno. A pesar que el diseñador no puede controlar a dos de esos

elementos, el conductor y el ambiente, si puede tomarlos en consideración a través de la geometría de la carretera y evitar un divorcio entre ellos que teóricamente aumentaría el potencial de accidente en la vía (NCHRP, 2003).

El concepto de consistencia del diseño geométrico no es una nueva teoría, se formuló alrededor de 1930 cuando se definió que la velocidad de diseño aseguraba la consistencia (Barnett, J. 1936). El concepto de velocidad de diseño ha sido modificado desde entonces, no obstante el criterio original de que un diseño geométrico seguro del camino debe cumplir o exceder los estándares definidos para una velocidad de diseño dada, se mantienen, al igual que los problemas que el concepto de velocidad a tenido (NCHRP, 2003).

Los resultados de múltiples investigaciones han demostrado la existencia de una relación directa entre la velocidad y la tasa de accidentes en carreteras de dos carriles. Por ejemplo, Graber, et. al (2000) encontró que un incremento en la desviación estándar de velocidades tiene el mismo efecto en la tasa de accidentalidad de carreteras rurales. Por otro lado, Polus, et. al (2004) determinó estadísticamente, en un estudio de 28 carreteras de dos carriles, que al aumentar la consistencia del diseño geométrico, la tasa de accidentes disminuye.

2.6 Velocidad de diseño y de operación

De acuerdo con AASHTO (2011), la velocidad de diseño se define como la velocidad utilizada para diseñar varios de los elementos geométricos de un trazado de carreteras, específicamente las curvas horizontales y verticales, dejando por fuera las tangentes, donde los usuarios pueden alcanzar velocidades mucho mayores. Este valor debe ser coherente con la velocidad de operación esperada, la topografía, el uso del suelo a lo largo del trazado y la clasificación funcional de la carretera. La escogencia cuidadosa del valor de velocidad de diseño debe permitir la obtención de un diseño balanceado que combine seguridad vial, movilidad, eficiencia, economía, estética, además de aspectos sociales, políticos y medio ambientales.

El uso de valores de diseño, por encima del mínimos recomendado, es una práctica recomendable en carreteras de alta velocidad (por encima de 80 km/h) donde es muy poco probable que se sobrepase el valor de la velocidad de diseño, pero en carreteras de baja

velocidad (por debajo de 70 km/h), es posible que los usuarios circulen a velocidades de operación mayores que la velocidad de diseño.

Algunos de los elementos del diseño que tienen una relación directa con el valor de la velocidad de diseño son:

- Curvatura
- El peralte o superelevación
- Distancia de visibilidad

Otros parámetros como el ancho de carril, el ancho del espaldón y el tamaño de la zona libre, no están relacionados directamente con la velocidad de diseño, pero sí tienen influencia sobre la velocidad de operación de la vía (AASHTO, 2011).

La escogencia del valor de la velocidad de diseño debe ser consistente con la expectativa del conductor como se mencionó anteriormente, por ejemplo, cuando se establece un límite de velocidad justificado por una razón o condición evidente para el conductor, este reaccionará de forma positiva ante la regulación, si por el contrario el conductor no percibe tal condición en la vía, consecuentemente no estará dispuesto a atender la regulación (AASHTO, 2011).

La velocidad de operación está controlada por señales de tránsito de "velocidad máxima", esta regulación debe estar directamente relacionada con el percentil 85 de la distribución acumulada de velocidades, obtenida a partir de una muestra estadísticamente representativa de vehículos, y contrastada con las condiciones de la vía y su entorno. Si estos límites de velocidad se definen de forma arbitraria es difícil que la regulación de velocidad sea efectiva (AASHTO, 2011).

2.7 Criterios de evaluación de la consistencia del diseño geométrico

El enfoque de los criterios de evaluación de la consistencia del diseño geométrico más utilizados, se centra en la valoración de diferenciales de velocidad, entre la velocidad de diseño y la velocidad de operación entre dos tramos de carretera consecutivos.

De acuerdo con Lamm (1999), quien desarrolló uno de los métodos de consistencia más utilizados, la consistencia local (entre segmentos consecutivos) del diseño geométrico de

Informe LM-PI-USVT-003-14	Fecha de emisión: 12 de febrero de 2014	Página 21 de 51
---------------------------	---	-----------------

carreteras de dos carriles, se puede evaluar según el cumplimiento de tres criterios que utilizan como indicador el diferencial entre de la velocidad de diseño (v_d) y la velocidad de operación (v_{85}), estos criterios se muestran en la Cuadro 2. El primer criterio analiza la diferencia entre la velocidad de operación (v_{85}) y la velocidad de diseño (v_d) en un mismo segmento, mientras que el segundo analiza la disminución de velocidad de operación entre una tangente (i) y una curva (i+1) consecutivos. Estos diferenciales de velocidad son los que el conductor en teoría puede asimilar sin violar su expectativa.

Cuadro 2 Criterios de consistencia del diseño geométrico.

Consistencia del diseño geométrico	Criterio 1 (km/h)	Criterio 2 (km/h)
Buena	$ v_{85} - v_d \leq 10$	$ v_{85i} - v_{85(i+1)} \leq 10$
Aceptable	$10 < v_{85} - v_d \leq 20$	$10 < v_{85i} - v_{85(i+1)} \leq 20$
Pobre	$ v_{85} - v_d > 20$	$ v_{85i} - v_{85(i+1)} > 20$

Nota: Tomado de Lamm, (1999).

Existen otros modelos y criterios de consistencia del diseño geométrico, los cuales evalúan el diseño de forma global (en tramos completos), a partir de criterios relacionados con la estabilidad del vehículo, indicadores de alineamiento como radio de curvatura y fatiga del conductor (Ng, 2004) y (Awata et al, 2002).

La evaluación de la consistencia del diseño geométrico se realiza a partir de un perfil de velocidades que se utiliza para detectar las inconsistencias de velocidad a lo largo del alineamiento. Un perfil de velocidades es un gráfico de velocidades de operación contra distancia donde las inconsistencias de diseño se identifican a partir de la criterios enunciados en la Cuadro 2 (FHWA, 2000).

La velocidad de operación se obtiene a partir de un modelo de velocidad calculado a partir del percentil 85 de las velocidades, es un valor internacionalmente aceptado para describir el comportamiento de este parámetro en una carretera de dos carriles. Es una expresión

matemática, obtenida a partir de regresión lineal u otros modelos probabilísticos, que busca predecir la velocidad de operación de los vehículos de pasajeros (v_{85}) en función de las características geométricas de la vía en las secciones de tangente y curva (TRB, 2011)

A lo largo del desarrollo del diseño geométrico se han desarrollado diversos modelos de predicción de la velocidad, los cuales evidentemente están asociados a las características de los usuarios y de la red vial del país en que fueron desarrollados (Arguelles, 2013).

En Costa Rica no se ha definido un modelo específico para las condiciones del país, sin embargo, Arguelles (2013) realizó la comparación de once modelos de velocidad de operación de ocho países distintos, con mediciones de campo con radar, en carreteras de dos carriles en Costa Rica. Los resultados obtenidos muestran que el modelo de velocidad de operación que mejor aproxima a las condiciones obtenidas en campo, es el modelo propuesto por Nie et al (2007), donde el porcentaje de diferencia es de un 6%. Por otro lado, también determinó que el modelo de predicción de velocidad utilizado por la Federal Highway Administration (FHWA, 2000) en el programa Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM), que es una herramienta informática desarrollada para evaluar los efectos del diseño geométrico en la seguridad vial y las condiciones de operación en las carreteras, se pueden obtener diferencias en el orden del 14,3% del valor de la velocidad medida en campo. No obstante es importante recordar que los modelos de velocidad, como el de FHWA (2000), no consideran la velocidad de los vehículos pesados como lo hizo Arguelles (2013). Ver Cuadro 3.

Cuadro 3 Modelos de velocidad de operación

Ecuación	Modelo de velocidad de operación	Ecuación
1	FHWA (2000)	$v_{85} = 102,2 - \frac{3077,13}{R}$
2	Nie y Hassal (2007)	$v_{85} = 110,386 - \frac{6856,213}{R}$

Nota: Tomado de Arguelles, (2013).

2.8 Programa IHSDM

La Federal Highway Administration (FHWA) ha creado el programa Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM versión 7.0.0), para evaluar los efectos del diseño geométrico en la seguridad vial y las condiciones de operación en las carreteras. Este es un programa de cómputo libre que realiza la evaluación de la consistencia del diseño geométrico a partir de los criterios de Lamm (1999) y FHWA (2011).

El programa consta de 5 módulos que evalúan diferentes componentes del desempeño de la seguridad vial y el desempeño de la carretera:

- Módulo de análisis de accidentes: realiza la predicción de la cantidad esperada de accidentes y propone medidas de mitigación. Este módulo requiere calibración y validación para su uso en Costa Rica.
- Módulo de consistencia: evalúa la expectativa de velocidad del conductor relativa al diseño geométrico.
- Módulo de conductor/vehículo: realiza una evaluación del conductor y cómo operaría determinado tipo vehículo en un alineamiento. Este módulo requiere calibración y validación para su uso en Costa Rica.
- Módulos de análisis de tráfico: estima las condiciones de operación del diseño bajo los volúmenes de tráfico del proyecto.
- Módulo de revisión de normativa: evalúa la conformidad de cada elemento con la normativa AASTHO.

La metodología del IHSDM solo considera la evaluación de carreteras de dos carriles dado que este tipo de vía representa alrededor de las dos terceras partes de las carreteras bajo la administración de FHWA. El programa IHSDM puede ser descargado de forma gratuita de la página electrónica www.ihsdm.org.

3. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE SEGURIDAD VIAL

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de la evaluación de seguridad vial del Proyecto Bajos de Chilamate-Vuelta de Kooper. Este proyecto constituye una extensión de la Ruta Nacional N° 4.

3.1 Revisión de normativa de diseño

La normativa de referencia aplicada al proyecto geométrico corresponde a la versión del año 1994 del Manual de Diseño Geométrico de AASTHO ("A Policy for de Geometric Design of Highways and Streets") y al Manual de Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales del año 2004 (SIECA, 2004). Según la normativa de referencia (SIECA, 2004), el tipo de carretera es Troncal Rural, lo cual equivale a Sistema Arterial Rural Menor (AMR), según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA, 2011). Este tipo de vía se caracteriza por:

- Tránsito Promedio Diario (TPD): 3.000 – 10.000 vehículos
- Número de carriles: 2

Al comparar la información anterior con la disponible para el proyecto:

- TPD: 5.148 vehículos (en el 2007)
- Número de carriles: 2

Según SIECA (2011), el sistema arterial rural menor (AMR), en conjunto con el sistema arterial rural principal, forma una red con las siguientes características de servicio:

- Conexión de ciudades y otros generadores de tránsito que son capaces de atraer viajes sobre distancias largas.
- Servicio departamental y municipal integrado.
- Espaciamiento interino acorde con la densidad de población, de modo que todas las zonas desarrolladas en los departamentos estén a distancias razonables de las carreteras arteriales.

- Movimientos en corredores acordes a los puntos anteriores con longitudes de viaje y densidad de viaje mayores que las predominantemente servidas por los sistemas rurales colector o local.

Por tanto, las arterias menores constituyen vías, cuyo diseño debería esperarse que provea velocidades de viaje relativamente altas, y mínima interferencia de los movimientos directos.

3.2 Alineamiento horizontal

La información disponible en los planos del proyecto sobre el alineamiento horizontal es la siguiente:

- Velocidad de diseño indicada, $v_d = 100$ km/h
- Peralte máximo indicado, $e = 10\%$

El factor de fricción lateral, f , no se indica en planos. Se establece mediante la Figura 9 del Manual de Diseño Geométrico (AASHTO, 2004) que el valor podría ser de $f = 0,12$.

Con base a la información anterior, y la ecuación 3 se determina que el radio mínimo es de 358 metros.

$$R_{\min} = \frac{v^2}{127 * (e_{\max} + f_{\max})} \quad \text{Ecuación 3}$$

donde:

v : velocidad de diseño

e_{\max} : peralte máximo

f_{\max} : factor de fricción máximo

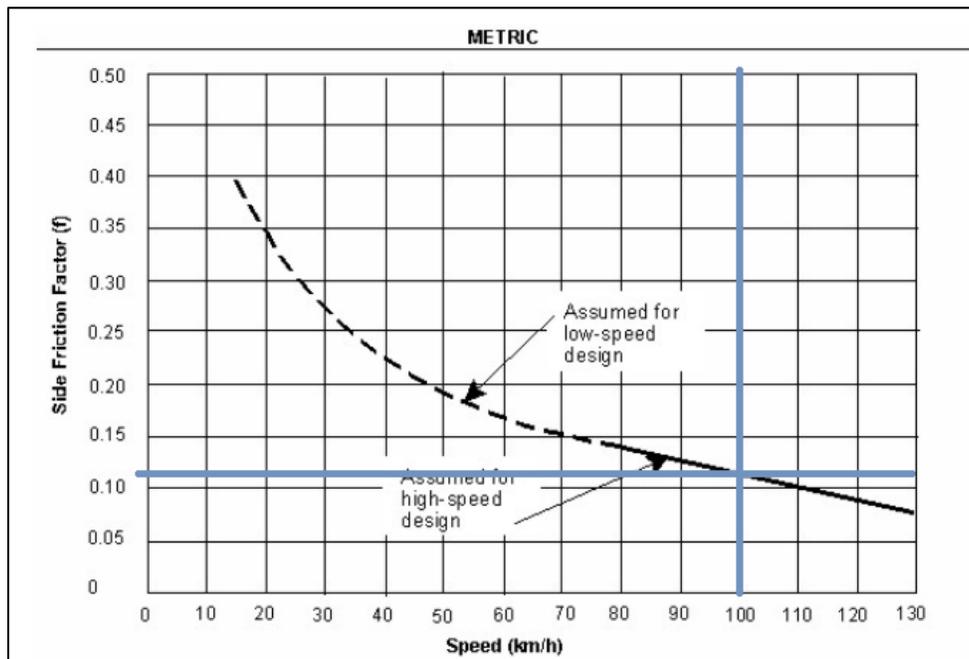


Figura 9 factor de fricción lateral
Nota: Tomada de AASHTO (2004)

Las curvas de menor radio en planos fueron las número 15, 16, 17 y 18, de 420 metros de radio cada una por lo que se concluye que el alineamiento horizontal satisface el criterio de radio mínimo. Ver Cuadro 4.

Cuadro 4 Curvas horizontales de menor radio.

	Ubicación según su PI	Radio (m)
15	9+076,320	420
16	10+358,199	420
17	11+483,192	420
18	12+281,169	420

Nota: Análisis de acuerdo a los planos de proyecto.

El Manual Centroamericano de Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (SIECA, 2011) establece el criterio de que la longitud máxima de recta no debe exceder el valor de 20 veces

la velocidad de diseño, esto permite evitar la monotonía en la carretera y que disminuya la concentración del conductor. También disminuye las oportunidades de exceder el límite de velocidad. Como la velocidad de diseño es de 100 km/h, la longitud máxima de recta recomendada para este proyecto sería de 2.000 metros.

Las curvas de radio amplio (mayores a $R = 1.000$ m) no son útiles para terminar con este tipo de monotonía: no exigen una gran concentración por parte del conductor y no lo obligan a disminuir su velocidad. Esta condición se da en las estaciones 0+000 y 4+800, 13+500 y 16+900, y 17+200 y 27+200.

3.3 Alineamiento vertical

La información disponible en los planos del proyecto sobre las especificaciones del alineamiento horizontal es la siguiente:

$$V_{DIS} = 100 \text{ km/h}$$

Terreno: Ondulado – Plano (Lomerío)

La pendiente máxima sería $e_{max} = 4\%$

Cuadro 5 Pendiente máxima para carreteras arteriales

TIPO DE TERRENO	Máxima Pendiente (%) para la Velocidad de Diseño Especificada, KPH					
	60	70	80	90	100	110
Plano	5	5	4	4	3	3
Lomerío	6	6	5	5	4	4
Montañoso	8	7	7	6	6	5

Nota: Tomado de AASHTO, (2004).

En el Cuadro 6 se muestran las curvas verticales que exceden el 4% de pendiente máxima indicado por la norma. Sin embargo, en la memoria de cálculo del diseño geométrico el

diseñador declara que la pendiente a utilizar es de un 6%. Esta decisión puede afectar la visibilidad disponible en curvas verticales e intersecciones, así como la velocidad de operación de los vehículos pesados.

Cuadro 6 Curvas verticales que exceden la pendiente máxima

Desde		Hasta		Pendiente e (%)
PIV	Estación	PIV	Estación	
1	0+001,654	2	0+294,937	4,701
8	2+419,505	9	2+721,970	6,000
28	10+406,600	29	10+703,811	-4,826
29	10+703,811	30	11+134,237	5,411
39	16+299,859	40	16+578,924	4,651
68	25+762,530	69	26+143,000	-4,997

Nota: Análisis de acuerdo a los planos de proyecto.

De acuerdo con AASHTO 2011 (Sección 3.5.2 General Design Controls), las curvas horizontales de radios pequeños se deberán evitar en la parte más alta de una cresta, o en la parte más baja de un columpio. La curvatura en el alineamiento vertical como en el horizontal deberá ser lo más reducida posible para asegurar la visibilidad de ambas carreteras para asegurar un frenado adecuado. De igual forma, el PI y el PIV deben estar alejados de forma tal que no interfieran con la visibilidad del usuario.

Se presentan a continuación aquellas curvas horizontales y verticales que podrían presentar inconvenientes debido a su combinación, por lo que un análisis más profundo y detallado es recomendado en estos tramos.

Cuadro 7 Combinación de curvas horizontales y verticales con riesgo de visibilidad limitada

Identificación		Ubicación		Ángulo de deflexión (Δ) (m)	Radio (m)	Pendientes	
PI	PIV	PI	PIV			g1 %	g2 %
6	14	4+970,075	4+936,600	33,475	700	2,081	-1,831
7	15	5+404,240	5+396,600	7,64	700	-1,831	1,875
15	24	9+076,320	9+076,082	0,238	420	1,698	-1,200
19	32	13+097,799	13+022,380	75,419	800	2,908	-0,700
22	41	17+106,199	17+007,200	98,999	600	1,825	-1,358
35	68	25+807,874	25+762,530	45,344	1000	2,227	-4,997

Nota: Análisis de acuerdo a los planos de proyecto.

3.4 Distancia de Visibilidad disponible y requerida

Las especificaciones del proyecto indican que la distancia de visibilidad requerida del proyecto es de 185 metros para una velocidad de diseño de 100 km/h. La práctica internacional del diseño geométrico dice esta distancia debe ser, como mínimo, igual a la distancia de frenado (AASHTO, 2004).

El análisis del diseño geométrico con la herramienta IHSDM arrojó los resultados mostrados en el Gráfico 1. En la parte inferior del gráfico se muestra la distancia de visibilidad correspondiente al sentido creciente (Chilamate-Vuelta de Kooper), indicado en color verde y al sentido decreciente (Vuelta de Kooper-Chilamate) indicado en rojo. Las líneas horizontales de color amarillo y azul representan el valor de distancia de visibilidad requerida, calculadas con la fórmula de AASHTO (2004).

Los valores que se ubican por debajo de las líneas horizontales representan tramos con incumplimientos entre la distancia de visibilidad requerida y la disponible. A estos tramos se

debe poner atención al momento de definir las zonas de adelantamiento y reforzar su señalización vial. Los tramos donde se presentan los incumplimientos de distancia de visibilidad corresponden a sectores donde el valor del grado de curvatura de las curvas horizontales o el valor de la curvatura vertical ("K") no cumplen con el valor mínimo de la normativa, o se encuentran muy cercanos entre sí los valores de PI y el PIV, por lo que limitan la visibilidad disponible del conductor. En los

Cuadro 8, 9 y 10 se resumen los tramos donde se identificó esta inconsistencia.

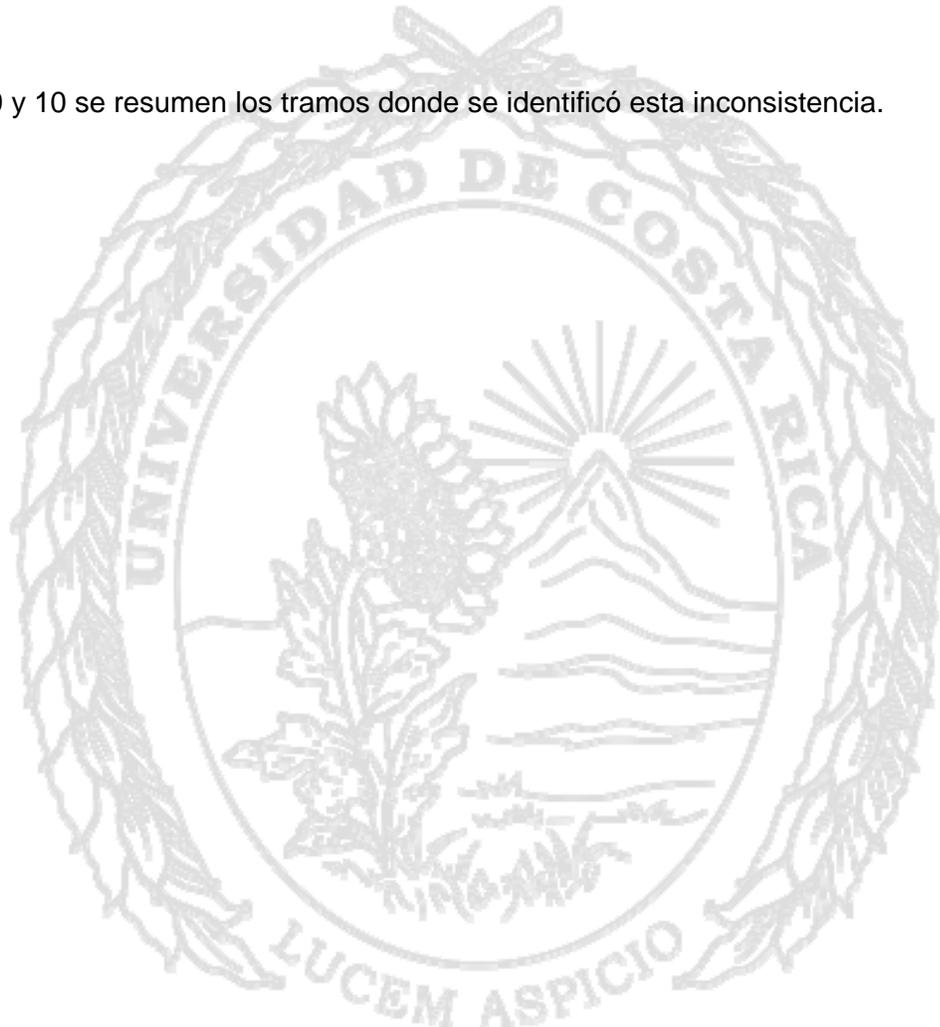
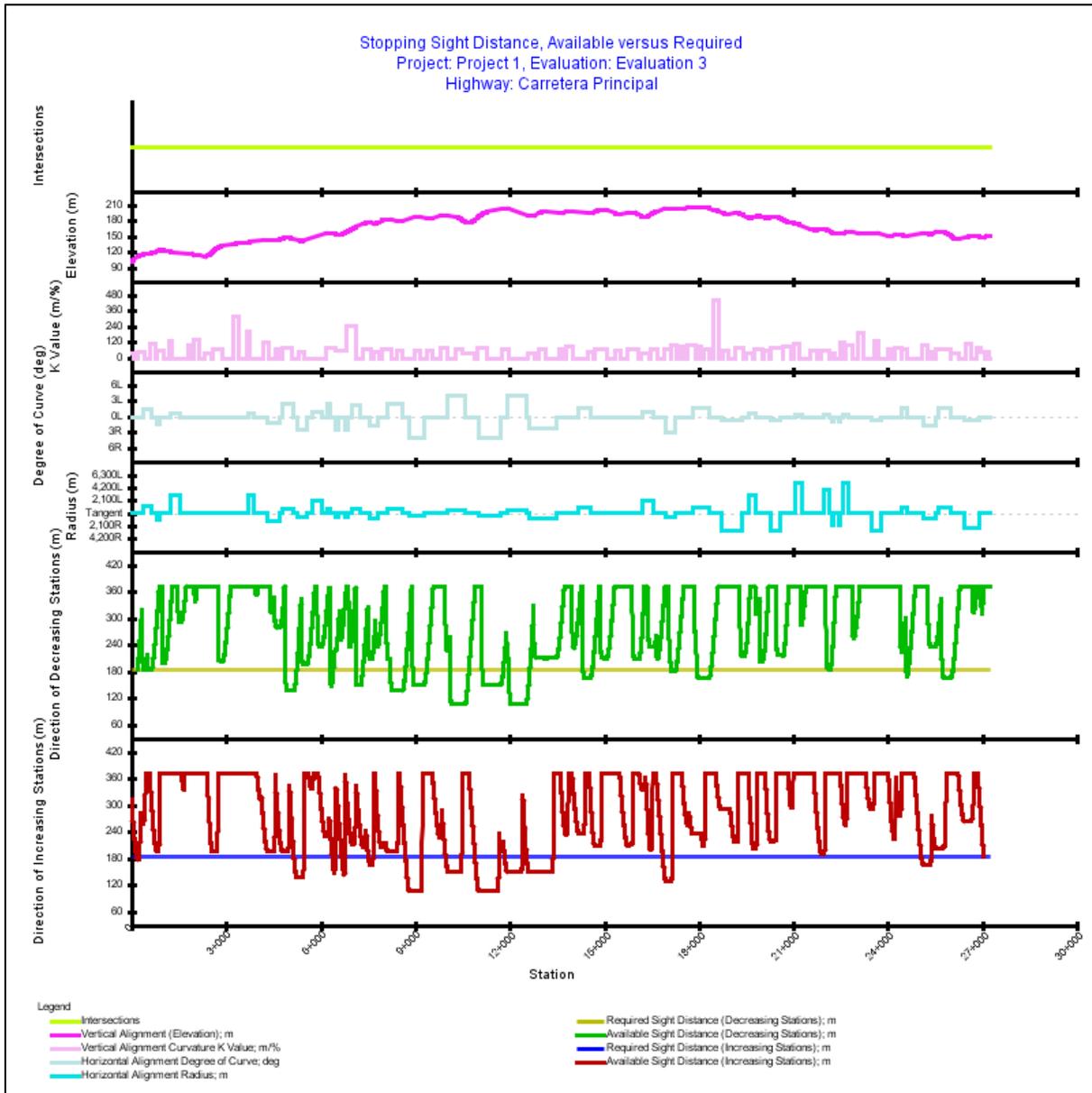


Gráfico 1: Distancia de visibilidad disponible y requerida



Cuadro 8 Tramos con incumplimientos de distancia de visibilidad disponible, sentido creciente.

Estación		Visibilidad	
Inicio	Final	Disponible (m)	Requerida (m)
0+158	0+236	178	185
5+146	5+468	140	185
6+368	6+462	148	185
6+668	6+774	144	185
7+512	7+666	166	185
8+690	9+216	108	185
9+964	10+474	152	185
10+896	11+652	108	185
11+836	12+406	152	185
12+532	13+378	150	185
16+854	17+164	128	185
25+060	25+376	166	185

Nota: Análisis de acuerdo a los planos de proyecto.

**Cuadro 9 Tramos con incumplimientos de distancia de visibilidad disponible.
sentido decreciente.**

Estación		Visibilidad	
Inicio	Final	Disponible (m)	Requerida (m)
0+378	0+406	184	185
0+528	0+634	184	185
4+878	5+240	140	185
6+306	6+400	148	185
7+114	7+334	150	185
8+214	8+690	140	185
8+920	9+362	152	185
10+108	10+704	108	185
11+126	11+798	152	185
11+982	12+636	108	185
14+326	14+618	166	185
17+124	17+270	182	185
17+940	18+386	166	185
24+586	24+650	170	185
25+734	26+066	166	185

Nota: Análisis de acuerdo a los planos de proyecto.

Cuadro 10 Tramos con incumplimientos en el valor de la curvatura vertical "K"

Estación		Valor de K		Curva	
Inicio	Final	Según planos (m/%)	Según normativa (m/%)	Tipo	Longitud (m)
0+194.937	0+394.937	51.81	52.00	Cresta	200.00
2+299.505	2+539.505	36.36	45.00	Columpio	240.00
5+316.600	5+476.600	43.17	45.00	Columpio	160.00
7+662.350	7+842.350	43.90	45.00	Columpio	180.00
10+513.815	10+893.815	37.12	45.00	Columpio	380.00
12+581.332	12+781.332	41.30	45.00	Columpio	200.00
16+149.859	16+449.859	35.94	45.00	Columpio	300.00
19+515.595	19+723.595	37.20	45.00	Columpio	208.00
22+196.000	22+336.000	37.55	45.00	Columpio	140.00
26+010.000	26+276.000	40.95	45.00	Columpio	266.00
26+944.000	27+084.000	42.80	45.00	Columpio	140.00
27+138.984	27+228.984	50.39	52.00	Cresta	90.00

Nota: Análisis de acuerdo a los planos de proyecto.

3.5 Distancia de Visibilidad de adelantamiento

La calidad de los planos de señalización vial del proyecto no permiten hacer una valoración de la calidad de la distancia de visibilidad para adelantamiento, dado que no se puede definir con certeza los puntos de inicio y final de las zonas donde el adelantamiento es permitido. Por lo tanto, no se incluye ese análisis en el contenido de este informe.

3.6 Análisis de consistencia del diseño geométrico

En el Gráfico 2 y el Gráfico 4, se muestran para el sentido Chilamate-Vuelta de Kooper (creciente) y para el sentido contrario (decreciente), los resultados del análisis de consistencia del diseño geométrico generados por el programa IHSDM. Estos resultados fueron obtenidos a partir de la construcción del perfil de velocidades de operación y diseño con la ecuación 1 del Cuadro 3 y compararlos con los criterios de consistencia del Cuadro 2.

En ambos gráficos se observa en la parte inferior el perfil de velocidades (en color verde), más arriba los radios de curva (en color celeste) y el grado de curvatura (en color gris), seguido del valor de curvatura "K" (en color rosado) y el perfil altimétrico del trazado (en color fucsia) y finalmente, en la parte superior se ubican las intersecciones del proyecto, sin embargo los planos del proyecto no contienen información suficiente para poder incluirlas dentro del análisis.

Específicamente, en el perfil de velocidades es posible reconocer los siguientes elementos que acompañan al perfil proyectado de velocidad de operación (v_{85}) mostrada a trazos de color verde, la velocidad de diseño se representa con una línea horizontal a puntos de color verde, la velocidad permitida, según la señalización vial mostrada en planos, se muestra con una línea a trazos de color gris.

Los elementos individuales que incumplen el criterio 1, especificado en el Cuadro 2, se muestran con banderas según el código de colores de ese mismo Cuadro. De igual forma, los tramos que incumplen con el criterio 2, se representan por medio de una línea a trazos con los colores del Cuadro 2.

Gráfico 2 Perfil de velocidades para el sentido creciente

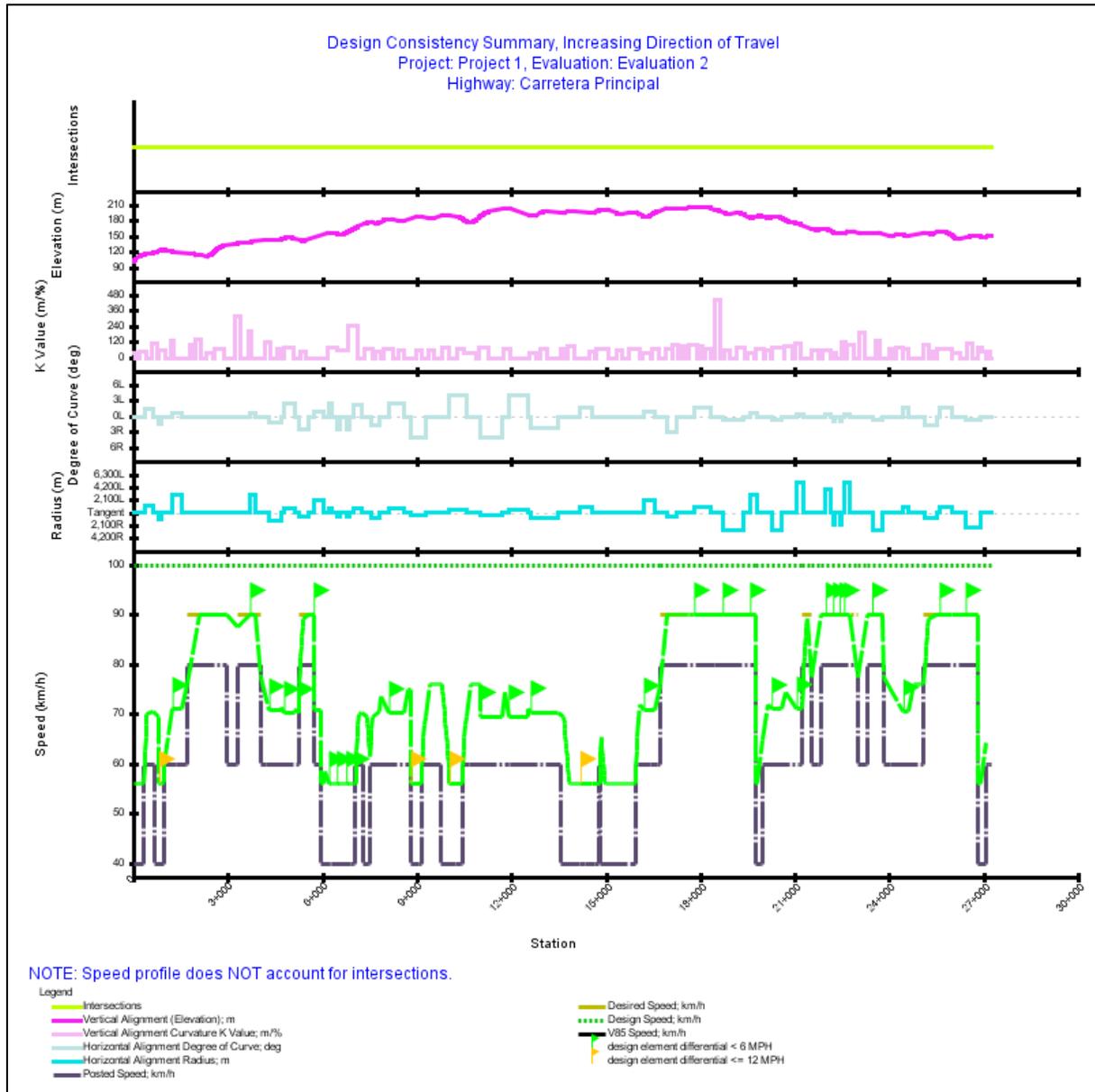
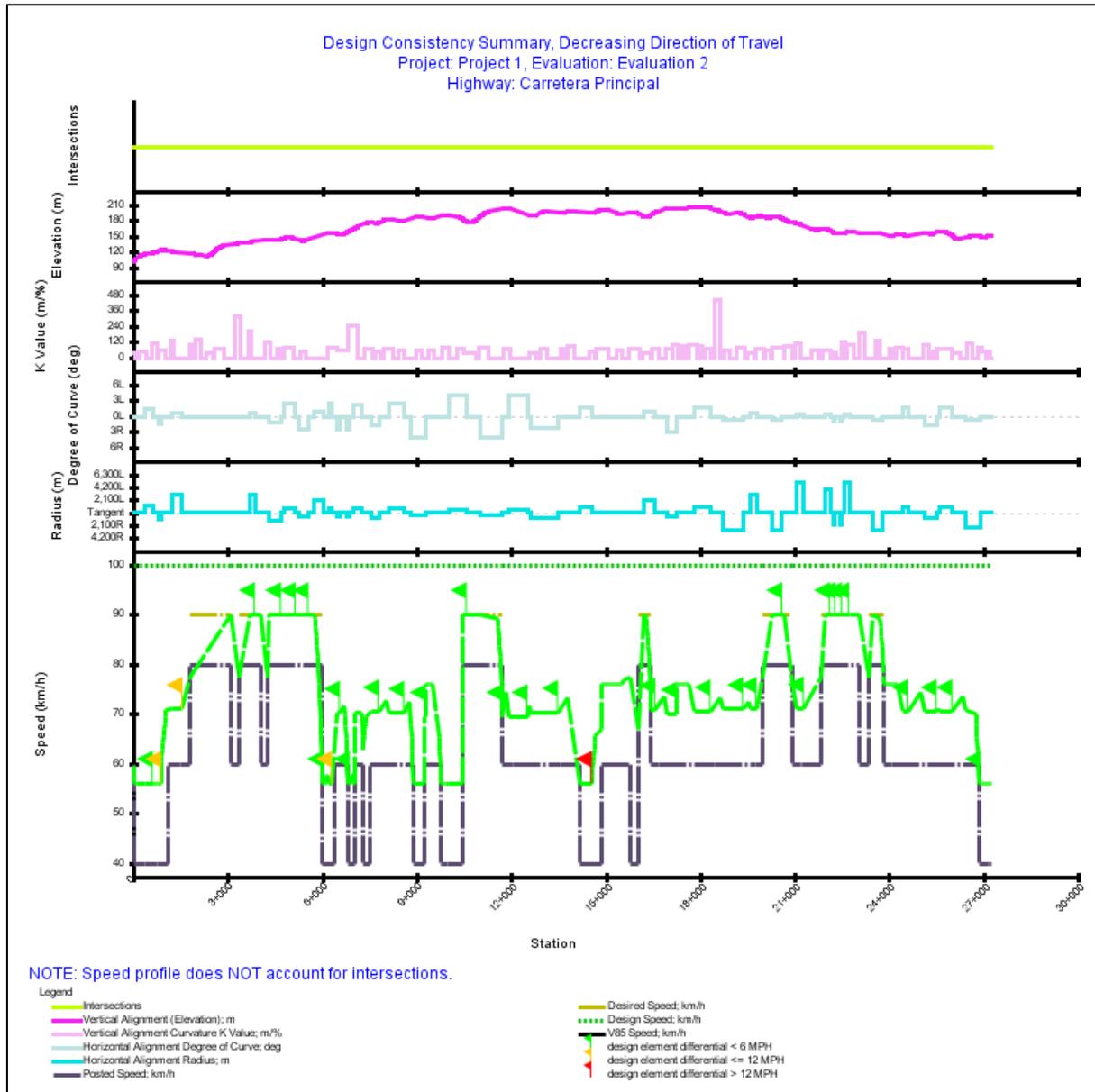


Gráfico 4 Perfil de velocidades en sentido decreciente



En los resultados de la evaluación de consistencia del diseño geométrico con el criterio 1 del Cuadro 2, obtenidos para el sentido creciente, de Chilamate hacia Vuelta de Kooper, (Gráfico 2) se observa que el perfil de velocidad de operación proyectado no supera al valor de la velocidad de diseño. Sin embargo, se observan ocho tramos donde el diferencial de velocidades de operación y diseño se encuentra entre 10 km/h y los 20 km/h, por lo que incumplen con el criterio 1 del Cuadro 2. Estos tramos se pueden clasificar con inconsistencias "aceptables". En el Anexo se adjunta el perfil de velocidades resultante y la ubicación cada tramo.

En el Gráfico 2, están resaltados en color amarillo 4 elementos del alineamiento donde el diferencial de velocidades entre elementos consecutivos (tangente-curva) está entre 10 km/h y 20 km/h, por lo que incumplen con el criterio 2 del Cuadro 2. Estas inconsistencias pueden ser calificadas como "aceptables", según lo definido por Lamm (1999). En el Cuadro 11 se resumen las ubicaciones de estas inconsistencias.

Del perfil de velocidades mostrado en el Gráfico 2 se observa que la velocidad permitida en el trazado de la vía se encuentra, entre 10 km/h y 15 km/h por debajo de la velocidad de operación esperada en la mayor parte del trazado. Este diferencial de velocidades se encuentra dentro del rango de tolerancia de la Ley de Transito y Seguridad Vial (Ley 8677), pero no deja de ser un indicador sobre riesgo potencial de que los límites de velocidad sean excedidos especialmente en las zonas pobladas donde el límite de velocidad indicado es de 40 km/h. Esta posibilidad tendría un impacto en la probabilidad y frecuencia de choques relacionados con exceso de velocidad.

Los resultados de consistencia para el criterio 1 del Cuadro 2, del diseño geométrico para el sentido decreciente, de Vuelta de Kooper hacia Chilamate (Gráfico 4) muestran una condición similar a la del sentido creciente: el perfil de velocidad de operación proyectado nunca llega a superar al valor de la velocidad de diseño del proyecto (100 km/h). Se observan ocho tramos donde el diferencial de velocidades de operación y diseño se encuentra entre 10 km/h y los 20 km/h, que incumplen con el criterio 1 del Cuadro 2. Estos tramos se pueden clasificar con inconsistencias "aceptables". En el Anexo se adjunta el perfil de velocidades resultante y la ubicación cada tramo en la dirección decreciente.

Cuadro 11 Resumen de resultados de consistencia bajo el criterio 2 para el sentido creciente (Chilamate-Vuelta de Kooper).

Estación de la tangente precedente (i)	Velocidad de la tangente precedente (km/h)	PC de inicio de curva (i+1)	Velocidad en curva (km/h)	Diferencial de velocidad (km/h)	Condición
804.434	70	819.857	56	13	2
1+236.738	71	1+241.237	71	0	1
2+120.171	90	3+702.218	90	0	1
4+050.000	77	4+310.525	71	7	1
4+706.221	71	4+782.399	70	1	1
5+172.808	71	5+238.664	70	1	1
5+563.839	90	5+724.225	90	0	1
6+076.997	58	6+210.224	56	2	1
6+356.611	56	6+460.446	56	0	1
6+621.496	56	6+760.347	56	0	1
6+901.964	56	7+006.363	56	0	1
7+875.476	73	8+117.111	70	3	1
8+726.736	75	8+809.695	56	19	2
9+408.989	76	10+040.192	56	20	2
10+709.779	76	11+015.258	70	7	1
11+783.994	74	11+913.614	70	5	1
12+537.802	71	12+613.460	70	1	1
13+664.396	70	14+196.136	56	13	2
16+082.007	72	16+213.544	71	1	1
17+256.851	90	17+808.781	90	0	1
17+808.781	90	18+709.627	90	0	1
18+709.627	90	19+582.039	90	0	1
20+161.390	72	20+271.055	71	1	1
20+695.789	74	21+067.073	71	3	1
21+820.000	90	21+988.227	90	0	1
21+988.227	90	22+221.224	90	0	1
22+221.224	90	22+425.991	90	0	1
22+425.991	90	22+568.053	90	0	1
23+320.000	90	23+464.846	90	0	1
23+850.000	77	24+456.118	70	7	1
25+506.311	90	25+602.444	90	0	1
25+602.444	90	26+427.117	90	0	1

Nota: Análisis de acuerdo a los planos de proyecto.

En el Gráfico 4, están resaltados 4 elementos del alineamiento que presentan inconsistencias de velocidad. De estos elementos, 3 de ellos están resaltados con bandera de color amarillo, donde el diferencial de velocidades entre elementos consecutivos

(tangente-curva) está entre 10 km/h y 20km/h, por lo que incumplen con el criterio 2 del Cuadro 2 y uno de los elementos esta resaltado con bandera de color rojo donde el diferencial de velocidades entre elementos consecutivos (tangente-curva) es mayor a 20km/h. Estas inconsistencias según Lamm (1999), pueden ser calificadas como "aceptable" y "pobre" respectivamente. En el Cuadro 12 se resumen las ubicaciones de estas inconsistencias.

La inconsistencia localizada en la tangente ubicada en la estación 15+000 y la curva de la estación 14+560, es la requiere de mayor atención dado que es la más crítica de todas según el criterio de evaluación utilizado. La estrategia de mitigación debe orientarse a equiparar las velocidades entre ambos elementos, reforzar la señalización vial e implementar otras medidas tendientes a disminuir la velocidad en la tangente.

El perfil de velocidades del Gráfico 4 muestra que la velocidad permitida en el trazado de la vía se encuentra, entre 10 km/h y 15 km/h por debajo de la velocidad de operación esperada en la mayor parte del trazado. Esta condición, al igual que la evidenciada en el sentido contrario de circulación, tendría un impacto en la probabilidad y frecuencia de choques relacionados con exceso de velocidad.

3.7 Intersecciones

La información contenida en los planos del proyecto no incluye un diseño detallado de las intersecciones, lo que no permite realizar un análisis más preciso sobre las condiciones de seguridad vial que se podrían presentar.

3.8 Facilidades para peatones y ciclistas.

La información contenida en los planos del proyecto no incluye diseños relacionados con facilidades para peatones y ciclistas.

Las secciones transversales del proyecto no muestran la existencia de aceras en el proyecto, a excepción de los tramos a construir en bahías para autobús, puentes vehiculares y algunos tramos aislados, sin que se pueda evidenciar que exista conectividad con las comunidades cercanas donde sea probable la existencia de flujos de peatones.

Una situación similar ocurre con las facilidades para ciclistas, en los planos no se observa la existencia de ciclovías o ciclorutas en el proyecto, lo cual contrasta con la condición observada en las vías aledañas al proyecto y en los tramos existentes de la Ruta 4, donde es frecuente el uso de la bicicleta como medio de transporte.



Cuadro 12 Resumen de resultados de consistencia bajo el criterio 2 para el sentido decreciente (Vuelta de Kooper- Chilamate)

Estación de la tangente precedente (i)	Velocidad de la tangente precedente (km/h)	PC de inicio de curva (i+1)	Velocidad en curva (km/h)	Diferencial de velocidad (km/h)	Condición
27+232.389	56	26+908.101	56	0	1
26+355.481	74	26+007.666	70	3	1
25+583.957	71	25+506.311	70	1	1
25+016.469	74	24+592.651	70	4	1
23+050.000	90	22+733.393	90	0	1
22+733.393	90	22+497.565	90	0	1
22+497.565	90	22+289.503	90	0	1
22+289.503	90	22+125.566	90	0	1
21+850.000	77	21+285.195	71	6	1
20+653.899	90	20+604.894	90	0	1
19+980.000	77	19+787.982	71	6	1
19+540.469	73	19+365.873	71	2	1
18+646.274	73	18+328.015	70	3	1
17+623.919	76	17+250.634	70	6	1
16+865.211	73	16+576.176	71	3	1
15+800.000	77	14+560.523	56	21	3
13+783.790	73	13+484.497	70	3	1
12+575.709	72	12+517.493	70	2	1
11+849.915	74	11+720.295	70	5	1
11+015.258	90	10+584.569	90	0	1
9+483.939	76	9+284.824	70	7	1
8+770.838	73	8+598.309	70	2	1
8+049.046	73	7+796.527	70	2	1
6+970.218	58	6+869.702	56	2	1
6+697.293	72	6+558.618	70	2	1
6+558.618	70	6+308.395	56	14	2
6+175.390	58	6+029.089	56	2	1
5+724.225	90	5+563.839	90	0	1
5+563.839	90	5+149.127	90	0	1
5+149.127	90	4+692.083	90	0	1
4+050.000	90	3+856.572	90	0	1
3+075.000	90	1+557.429	71	19	2
1+036.277	71	888.370	56	15	2
0+779.631	56	615.081	56	0	1

Nota: Análisis de acuerdo a los planos de proyecto.

4. CONCLUSIONES

Los planos del proyecto contemplan elementos asociados con el componente de seguridad vial que deben poseer los proyectos de construcción de obra nueva; sin embargo, deben revisarse la cantidad, ubicación y extensión de facilidades peatonales en el proyecto como por ejemplo las aceras en los alrededores de poblados y caseríos y su conectividad con el origen y destinos de los viajes a pie más frecuentes.

En las visitas realizadas al proyecto y a sus vías aledañas se pudo observar el uso frecuente de la bicicleta como medio de transporte. En los planos del proyecto no se contempla la construcción de infraestructura para los ciclistas, por lo que deben realizarse estudios para determinar la demanda de este modo de transporte y proponer facilidades para su movilidad, de acuerdo a las necesidades que se identifiquen.

El diseño geométrico mostró una buena consistencia con respecto a la expectativa del conductor, solo en un caso se obtuvo un tramo de consistencia local deficiente.

La inconsistencia localizada en la tangente ubicada en la estación 15+000 y la curva de la estación 14+560, es la requiere de mayor atención dado que es la más crítica de todas, según el criterio de evaluación utilizado. La estrategia de mitigación debe orientarse a equiparar las velocidades entre ambos elementos, ya sea por medio de la modificación de su geometría, reforzamiento de la señalización vial e implementación de otras medidas de tráfico calmado tendientes a disminuir la velocidad en la tangente.

La verificación del cumplimiento de normativa de diseño geométrico se considera aceptable. El principal incumplimiento está asociado con la distancia de visibilidad disponible y la requerida, dado que se determinaron varios tramos con limitaciones en este parámetro que podría afectar negativamente el nivel de seguridad del proyecto.

Existe la posibilidad de que los límites de velocidad indicados por la señalización vial sean excedidos por los usuarios de la vía, como consecuencia de las características de movilidad que le otorga estándar diseño a este tipo de vías. A esta particularidad se le debe prestar especial atención en aquellos tramos donde la velocidad límite sea de 40 km/h o menos y

que el conductor no perciba una justificación de peso para disminuir su velocidad de marcha, dado el condicionamiento que le otorga el entorno rural que rodea este proyecto.

Las características del diseño geométrico de esta carretera no están conformes a los requisitos establecidos por el PNT 2011-2035 para la Red de Alta Capacidad, en cuanto a su cantidad de carriles y velocidad de diseño . El cambio de estándar de una carretera de 100 km/h de velocidad de diseño a una de 120 km/h, obligaría a realizar modificaciones en el alineamiento actual para cumplir con los requisitos geométricos.



5. RECOMENDACIONES

Realizar estudios de movilidad peatonal y de ciclistas para determinar la factibilidad de incorporar facilidades adicionales.

Revisar la ubicación de las zonas de adelantamiento permitido y la señalización vial en aquellos puntos donde la distancia de visibilidad está por debajo del estándar de la vía. Ver Cuadros 7,8 y 9.

Implementar medidas de tránsito calmado en aquellos tramos de la vía donde la velocidad deba restringirse por alguna situación particular de riesgo y que esta no esté claramente definida para el conductor. También debe tomarse en consideración que el alineamiento horizontal de este proyecto es predominantemente plano, por lo que es posible que un cambio abrupto en la velocidad permitida no sea percibido de inmediato por el conductor.

La Administración, por medio del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, debe analizar la vida útil de la cantidad de carriles propuestos en el diseño geométrico de la carretera y sus condiciones de operación a futuro, por medio de un estudio de demanda que considere la jerarquía y funcionalidad de la vía previstas en el Plan Nacional de Transportes 2011-2035 para este proyecto.

6. REFERENCIAS

- [1] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2004. A Policy on Geometric Design of the Highways and Streets. Cuarta Edición. Washington, D.C.
- [2] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2011. A Policy on Geometric Design of the Highways and Streets. Sexta Edición. Washington, D.C.
- [3] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2005. Roadway lighting Design Guide. Washington, D.C.
- [4] Barnett, J. (1936) "Safe Friction Factors and Superelevation Design." Sixteenth Annual Meeting Highway Research Board, National Research Council, Washington, D.C., Proceedings (1936).
- [5] Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito (CONASET), 2003. Guía para realizar una auditoría de seguridad vial. Recuperado de <http://www.conaset.cl/images/doc/Guia%20Auditoria%20de%20Seguridad.pdf>
- [6] Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito (CONASET), 2010. Medidas de Tráfico Calmado: Guía de criterios para la aplicación, ubicación, diseño y señalización de medidas para el tráfico calmado. Recuperado de http://www.conaset.cl/portal/portal/default/guia_trafico_10
- [7] Federal Highway Administration (FHWA), 2000. Speed prediction for two-lane Rural Highways. Recuperado de <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/ihsdm/99171/99171.pdf>
- [8] Garber, N. J., and Ehrhart, A. A. (2000). "The effect of speed, flow and geometric characteristics on crash rates for different types of Virginia highways." VTRC 00-R15, Virginia Transportation Research Council, Charlottesville, Va.

- [9] Global Road Safety Partnership, 2008. Speed management: a road safety manual for decision-makers and practitioners. Switzerland.
- [10] Hassan, Y. (2004). "Highway Design Consistency: Refining the State of Knowledge and Practice". *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1881, pp. 63-71.
- [11] Institute of transportation Engineers (ITE), 1999. The Traffic Safety Toolbox –a primer on traffic safety, Washington, D.C.
- [12] INECO, 2011. Plan Nacional de Transportes de Costa Rica 2011-2035. Memorias. MOPT. pp 69.
- [13] Lamm, R. Psarianos, B. Mailaender, T. 1999. Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook. McGraw-Hill (1999).
- [14] LanammeUCR, 2014. Revisión de la estimación del tránsito promedio diario del proyecto, "Construcción de la Ruta Bajos de Chilamate-Vuelta de Kooper. Licitación Pública No. 2011LI-000037-32702"
- [15] MOPT, 2011. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. "Construcción de la Ruta Nacional No. 4, Sección Bajos de Chilamate-Vuelta de Kooper. Licitación Pública No. 2011 LI-000037-32702"
- [16] NCHRP, 2003. Geometric Design Consistency on High-Speed Rural Two-Lane Roadways, Report 502.
- [17] Ng, J. C. W. and Sayed, T. (2004). "Effect of Geometric Design Consistency on Road Safety". *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 31, No. 2, pp. 218.
- [18] Nie, B., and Y. Hassan. Modeling Driver Speed Behavior on Horizontal Curves of Different Road Classifications. Presented at 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., 2007.
- [19] Organización Mundial de la Salud (OMS), 2013. Informe sobre la situación mundial de la Seguridad Vial 2013, Washington, D.C.
- [20] Organización Panamericana de la Salud (OPS), 2009. Informe sobre el estado de la seguridad vial en la región de las Américas, Washington, D.C.

- [21] Polus, A. Mattar-Habib, C. (2004). New Consistency Model for Rural Highways and its Relationship to Safety. Journal of Transportation Engineering. American Society of Civil Engineers, 2004.
- [22] Rosén, E. y Sander, U., 2009. Pedestrian fatality risk as a function of car impact speed. Suecia.
- [23] Secretaría de Integración Económica de Centroamérica (SIECA), 2000. Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito.
- [24] Secretaría de Integración Económica de Centroamérica (SIECA), 2001. Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales.
- [25] Transportation Association of Canada (TAC), 2004. The Canadian Guide to In-service Road Safety Reviews.
- [26] Transportation Research Board. (2011). Modeling Operating Speed. Washington: Transportation Research Board.
- [27] Transportation Research Board. (2010). Highway Capacity Manual 2010.

ANEXO

Cuadro A.1 Perfil de velocidades (Sentido Chilamate-Vuelta de Kooper)

Estación	Tipo de segmento	V85 (km/h)	Estación	Tipo de segmento	V85 (km/h)	Estación	Tipo de segmento	V85 (km/h)
2+120.171	Tangente	90	21+282.281	Curva	79	21+988.227	Curva	90
2+950.000	Tangente	90	21+304.550	Tangente	81	22+125.566	Tangente	90
3+702.218	Curva	90	21+327.480	Tangente	84	22+221.224	Curva	90
3+856.572	Tangente	90	21+351.000	Tangente	86	22+289.503	Tangente	90
4+050.000	Tangente	77	21+375.045	Tangente	87	22+425.991	Curva	90
5+263.611	Curva	76	21+399.558	Tangente	89	22+497.565	Tangente	90
5+285.140	Curva	79	21+540.000	Tangente	77	22+568.053	Curva	90
5+307.409	Curva	81	17+808.781	Curva	90	22+733.393	Tangente	90
5+330.339	Curva	84	18+328.015	Tangente	90	22+990.000	Tangente	77
5+353.858	Curva	86	18+709.627	Curva	90	23+464.846	Curva	90
5+377.903	Curva	87	19+365.873	Tangente	90	23+793.033	Tangente	90
5+402.417	Curva	89	19+582.039	Curva	90	23+850.000	Tangente	77
5+563.839	Tangente	90	19+779.999	Curva	90	25+129.373	Curva	79
5+724.225	Curva	90	21+260.753	Curva	76	25+151.642	Curva	81
5+729.999	Curva	90	17+381.851	Tangente	90	25+174.572	Curva	84
16+956.851	Curva	90	17+406.851	Tangente	90	25+198.092	Curva	86
16+981.851	Curva	90	17+431.851	Tangente	90	25+222.137	Curva	87
17+006.851	Curva	90	17+456.851	Tangente	90	25+246.650	Curva	89
17+031.851	Curva	90	17+481.851	Tangente	90	25+506.311	Tangente	90
17+056.851	Curva	90	17+506.851	Tangente	90	25+602.444	Curva	90
17+081.851	Curva	90	17+531.851	Tangente	90	26+007.666	Tangente	90
17+106.851	Curva	90	17+556.851	Tangente	90	26+427.117	Curva	90
17+131.851	Curva	90	17+581.851	Tangente	90	26+819.999	Curva	90
17+156.851	Curva	90	17+606.851	Tangente	90			
17+181.851	Curva	90	17+631.851	Tangente	90			
17+206.851	Curva	90	17+656.851	Tangente	90			
17+231.851	Curva	90	17+681.851	Tangente	90			
17+256.851	Tangente	90	17+706.851	Tangente	90			
17+281.851	Tangente	90	17+731.851	Tangente	90			
17+306.851	Tangente	90	17+756.851	Tangente	90			
17+331.851	Tangente	90	17+781.851	Tangente	90			
17+356.851	Tangente	90	17+806.851	Tangente	90			

Cuadro A.2 Perfil de velocidades Sentido Vuelta de Kooper-Chilamate

Informe LM-PI-USVT-003-14	Fecha de emisión: 12 de febrero de 2014	Página 50 de 51
---------------------------	---	-----------------

Estación	Tipo de segmento	V85 (km/h)	Estación	Tipo de segmento	V85 (km/h)
23+773.463	Curva	84	11+639.098	Curva	84
23+749.943	Curva	86	11+615.579	Curva	86
23+725.899	Curva	87	11+591.534	Curva	87
23+701.385	Curva	89	11+567.020	Curva	89
23+464.846	Tangente	90	11+015.258	Tangente	90
23+350.000	Tangente	77	10+584.569	Curva	90
22+733.393	Curva	90	10+450.001	Curva	90
22+568.053	Tangente	90	5+996.815	Curva	56
22+497.565	Curva	90	5+980.542	Curva	61
22+425.991	Tangente	90	5+962.961	Curva	66
22+289.503	Curva	90	5+944.213	Curva	69
22+221.224	Tangente	90	5+924.423	Curva	73
22+125.566	Curva	90	5+903.706	Curva	76
21+988.227	Tangente	90	5+882.160	Curva	79
21+850.000	Tangente	77	5+859.875	Curva	81
20+653.899	Tangente	90	5+836.931	Curva	84
20+604.894	Curva	90	5+813.400	Curva	86
20+271.055	Tangente	90	5+789.344	Curva	87
19+980.000	Tangente	77	5+764.820	Curva	89
16+419.107	Curva	76	5+724.225	Tangente	90
16+397.578	Curva	79	5+563.839	Curva	90
16+375.309	Curva	81	5+238.664	Tangente	90
16+352.379	Curva	84	5+149.127	Curva	90
16+328.860	Curva	86	4+782.399	Tangente	90
16+304.815	Curva	87	4+692.083	Curva	90
16+280.301	Curva	89	4+310.525	Tangente	90
16+213.544	Tangente	90	4+250.000	Tangente	77
16+050.000	Tangente	67	3+856.572	Curva	90
11+705.825	Curva	76	3+702.218	Tangente	90
11+684.297	Curva	79	3+375.000	Tangente	77
11+662.028	Curva	81	1+800.000	Tangente	77