



INSTITUTO  
MEXICANO DEL  
TRANSPORTE



*Certificación ISO 9001:2008 ‡*

---

---

# **Gestión de alternativas de mejoramiento para el tramo Cd. Mendoza-Córdoba, utilizando el Manual de Seguridad Vial de la AASHTO 2010**

María Guadalupe Saucedo Rojas  
Alberto Mendoza Díaz

**Publicación Técnica No. 388  
Sanfandila, Qro., 2013**



---

**SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES**  
**INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE**

**Gestión de alternativas de mejoramiento para el  
tramo Cd. Mendoza-Córdoba, utilizando el Manual  
de Seguridad Vial de la AASHTO 2010**

**Publicación Técnica No. 388**  
**Sanfandila, Qro, 2013**

---



Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte del Instituto Mexicano del Transporte, por María Guadalupe Saucedo Rojas y Alberto Mendoza Díaz.



# Contenido

---

<b>Resumen</b> .....	v
<b>Abstract</b> .....	vii
<b>Resumen ejecutivo</b> .....	ix
1. Introducción.....	1
2. Información del tramo Ciudad Mendoza-Córdoba.....	9
2.1 Información requerida.....	9
2.2 Obtención de la información del tramo .....	13
2.3 Información recopilada.....	14
3. Revisión del tramo y diagnóstico.....	27
3.1 Revisión del tramo .....	27
3.2 Diagnóstico para cada segmento .....	29
4. Alternativas de mejoramiento para los segmentos.....	57
4.1 Factores de la vía que contribuyen a la causa de los accidentes .....	57
4.2 Alternativas de mejoramiento .....	62
5. Evaluación económica y priorización de mejoras.....	89
5.1 Estimación del costo de las alternativas .....	90
5.2 Estimación de los beneficios.....	93
5.3 Métodos de evaluación económica.....	96
5.4 Priorización de mejoras .....	99
6. Conclusiones y recomendaciones.....	103
<b>Bibliografía</b> .....	107

---

<b>Anexo A Características de proyecto y operación del tramo carretero Cd. Mendoza-Córdoba .....</b>	<b>109</b>
<b>Anexo B Estimación de la tasa media de crecimiento del tránsito (TMCT) .....</b>	<b>121</b>
<b>Anexo C Análisis de factibilidad económica para las alternativas de cada uno de los segmentos .....</b>	<b>123</b>

# Resumen

---

El Manual de Seguridad Vial de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) publicado en 2010 permite generar programas multianuales de mejoramiento de la seguridad vial de tramos carreteros mediante la identificación de sitios peligrosos, el diagnóstico, la proposición de contramedidas, su evaluación económica, la jerarquización de proyectos y la evaluación de la efectividad de las mejoras realizadas.

En este trabajo, para el tramo carretero Ciudad Mendoza-Córdoba de la autopista de cuota Puebla-Córdoba, perteneciente al corredor Pacífico, aplicamos la metodología del Manual de Seguridad Vial de la AASHTO para llevar a cabo la gestión de alternativas de mejoramiento de su seguridad vial.

A partir de los análisis efectuados, evaluamos la aplicabilidad del Manual de Seguridad Vial de la AASHTO al caso de México, y resultó que es una herramienta de gran utilidad, confiabilidad y aplicabilidad para el desarrollo de programas de mejoramiento de la seguridad vial de las carreteras mexicanas; no obstante, deja ciertas incertidumbres durante el proceso que sigue hasta llegar al desarrollo del programa de inversiones que pretende generar.



# Abstract

---

The Highway Safety Manual of the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) published in 2010 can generate multi-year program to improve road safety by network screening, the diagnosis, the countermeasures selection, the economic appraisal, prioritization of improvement projects and safety effectiveness evaluation.

In this work, the stretch of highway Ciudad Mendoza-Córdoba of the Puebla-Córdoba toll highway, belonging to the Pacific corridor, applies the methodology of the Highway Safety Manual AASHTO to carry out management options for improving its road safety.

From the analysis carried out assessing the applicability of the Highway Safety Manual AASHTO to the case of Mexico, proving that it is a tool of big useful, reliability and applicability for the development of programs to improve road safety Mexican roads nevertheless leaves some uncertainties during the process that is followed up to the development of the investment program that is intended to generate.



## Resumen ejecutivo

---

Existen diversas metodologías que se encargan de generar programas de mejoramiento de la infraestructura a partir de inspecciones en sitio a carreteras en operación, que tienen objetivos similares y siguen principios y procedimientos análogos. Resulta de gran interés saber emplear dichas metodologías por lo que a través de este trabajo pretendemos aplicar la metodología del Manual de Seguridad Vial de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2010) al tramo carretero Ciudad Mendoza-Córdoba del Corredor Pacífico entre los hitos kilométricos 257+000 (en las inmediaciones de Ciudad Mendoza) al 297+000 (en las inmediaciones de Córdoba); dicho tramo pertenece a la red federal de cuota de la carretera Puebla-Córdoba, cuya ruta es MEX 150-D, que actualmente es una red operada por Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE).

El Manual de Seguridad Vial de la AASHTO 2010 (MSV) sirve para generar programas de mejoramiento de la infraestructura, tanto en lo referente a problemas que se manifiestan en elevadas ocurrencias de accidentes (enfoque correctivo), como a sitios con deficiencias en los que no hay manifestación de accidentes en un momento dado, pero que potencialmente pudiesen dar lugar a elevadas incidencias (enfoque preventivo). La aplicación a la que se refiere este trabajo es básicamente preventiva, por lo que en este sentido es compatible con el enfoque de las denominadas “auditorías de seguridad vial”.

La metodología que seguimos de manera general para llevar a cabo la recolección de datos del tramo fue la siguiente: Realizamos una inspección inicial de campo en la que identificamos segmentos a cada 1000 metros, y cuando existe un cambio significativo en cualquiera de las variables definidas en la sección anterior. Hicimos recorridos en vehículo, en donde se observamos la infraestructura y el entorno. Revisamos las características físicas y operativas (p. ej. tipo de alineamiento horizontal y vertical, comportamientos de los conductores, velocidades desarrolladas). Registramos la velocidad límite que presentaba el camino. Además, realizamos un estudio detallado de campo donde localizamos, por medio de coordenadas geográficas, el sitio de estudio; esta actividad fue con la ayuda del equipo de sistema de posicionamiento global GPS (por sus siglas en inglés “Global Positioning System”), y su solución de Mapa-móvil. Conforme recorremos la zona en estudio, registramos en el GPS y el Mapa-móvil las características físicas más relevantes del tramo, como es el alineamiento horizontal. Las características y la información obtenida durante el levantamiento son incorporadas en el Sistema de Información Geográfico (SIG), que en este caso hacemos con el software ArcView y posteriormente transferidas al software

de AutoCAD para elaborar el trazo final del sitio. Por otra parte, durante el recorrido, tomamos una serie de fotografías en cada segmento de 1000 m., así como en lugares que contaran con características relevantes que pudieran ser de ayuda. También grabamos un video durante todo el tramo para observar el trazado que va siguiendo la Autopista antes, durante y después del segmento de estudio, así como detalles de relevancia que servirán para el presente trabajo de investigación. Una vez que realizamos lo anterior, hicimos un estudio detallado de gabinete en cada cuerpo, principalmente con la ayuda de las fotografías y el video, en el que determinamos las características de proyecto del tramo y las características de operaciones de tránsito que eran necesarias para poder aplicar la metodología del MSV.

Una vez que contamos con la recolección de datos y el estudio detallado de gabinete del tramo, procedemos a efectuar la revisión del tramo. Para ello es necesario, de acuerdo con la metodología del MSV establecer los siguientes cinco pasos principales:

- I. Establecer el objetivo: en este caso, el objetivo de la revisión consistió en identificar los segmentos de 500 metros más peligrosos en cada sentido, considerando que se trata de un tramo de carretera dividida, de 2 carriles por sentido.
- II. Establecer la población de referencia: según se indicó en la sección anterior, la población de referencia está constituida por todos los segmentos de 500 metros en los dos sentidos, del tramo Ciudad Mendoza-Córdoba.
- III. Seleccionar la medida de desempeño: para cuantificar la peligrosidad de cada segmento, utilizamos el Número de Accidentes Equivalentes (NAE), que es la medida de desempeño empleada por Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE), que es el organismo operador y administrador de esta. Para los segmentos de 500 metros de cada sentido, el NAE fue estimado a partir de la base de datos de reportes de los Servicios Médicos de CAPUFE, para los accidentes ocurridos en ambos sentidos del tramo, en el año 2009.
- IV. Seleccionar el método de revisión: una vez cuantificado el NAE de todos los segmentos de ambos sentidos, utilizamos como método de revisión la jerarquización de los segmentos por orden decreciente de su NAE.
- V. Revisar y evaluar los resultados: en el sentido Ciudad Mendoza-Córdoba identificamos un mayor número de segmentos peligrosos, así como con mayor valor de NAE, en relación con el otro sentido. Cabe también destacar que el segmento con cadenamiento  $268.5 \leq \text{km} < 269.0$  aparece entre los más peligrosos, en los dos sentidos, dado que corresponde a un paradero de vehículos a cada lado de las dos coronas, en los que entran y salen de manera lenta, anárquica y con poca precaución, grandes camiones

pesados de carga que se mezclan con vehículos que circulan de frente a gran velocidad en los dos sentidos.

Establecido lo anterior, procedemos a realizar el diagnóstico para cada segmento. El objetivo de llevar a cabo la realización del diagnóstico es la identificación de las causas de los accidentes y posibles potenciales de seguridad o patrones de accidentes que puedan ser evaluados posteriormente para proceder a seleccionar las alternativas de mejoramiento más adecuadas. El diagnóstico incluye los siguientes tres pasos principales:

- I. Revisión de los datos de seguridad. En este paso, procedimos a la revisión de los tipos de accidentes y su severidad en los diez segmentos ya mencionados con anterioridad, que fueron determinados de acuerdo con su nivel de alta peligrosidad. A partir de la base de datos de reportes de accidentes que fueron proporcionados por los Servicios Médicos de CAPUFE, para los accidentes ocurridos en ambos sentidos del tramo en el año 2009, generamos un resumen de los accidentes que incluye el número de estos, así como la suma de estos de acuerdo con su severidad para cada segmento; además generamos gráficas que muestran estadísticas de los accidentes, de acuerdo con el segmento y dependiendo de la severidad o tipo de accidente. En estas gráficas, lo que más destaca es que en la mayor parte de los accidentes de acuerdo con su severidad afortunadamente sólo se presentaron daños materiales; sin embargo, hay algunos en los que además de los daños materiales y presencia de lesionados también se cuenta con la presencia de muertos; en cuanto al tipo de accidentes, los más frecuentes son: salida del camino, choque por alcance y choque de costado.
- II. Evaluación de la documentación de sustento.
- III. Evaluación de las condiciones de campo. El objetivo de la documentación de sustento es obtener a través de la revisión de documentos perspectivas adicionales a las obtenidas con la revisión de los datos de accidentes, realizada en el paso anterior. Y con la evaluación de las condiciones de campo, pretendemos validar problemas de seguridad identificados con el paso (I) y (II). De acuerdo con los pasos (II) y (III), posteriormente realizamos su evaluación para cada segmento, en el que efectuamos un diagnóstico respecto de las características físicas y operativas del segmento, entre las que eran más recurrentes en todos los segmentos destacan observaciones referentes al señalamiento horizontal y vertical; ya sea por falta de este o porque es inadecuado, dispositivos de contención que no cumplen con su función, distancias de visibilidad reducidas, entre otras.

Concretado el diagnóstico de los diez segmentos, procedimos a la selección de alternativas de mejoramiento para cada uno de ellos, a través de las cuales

pretendemos reducir la frecuencia y/o severidad de los accidentes. La selección de contramedidas para cada segmento incluye los siguientes dos pasos principales:

I. Identificar los factores de la vía, que contribuyen a la causa de los accidentes en cada segmento: esto fue realizado dependiendo del tipo de accidente se le relacionaba con los posibles factores de contribución de la vía a este accidente. Por ejemplo, haciendo referencia al tipo de accidentes más frecuentes, ya mencionados con anterioridad, que se presentan en los segmentos establecidos, tenemos que los factores de acuerdo con las características de la vía del segmento que se está analizando serían para:

- Salida del camino:
  - Inadecuado ancho de carril.
  - Pobre delineación.
  - Pobre distancia de visibilidad.
  - Exceso de velocidad.
  
- Choque por alcance:
  - Inapropiadas velocidades de aproximación.
  - Carriles estrechos.
  - Exceso de velocidad.
  
- Choque de costado:
  - Inapropiadas velocidades de aproximación.
  - Exceso de velocidad.
  - Pavimento resbaloso en presencia de lluvia.

II. Identificar las alternativas de mejoramiento que pueden hacer frente a los factores de contribución: Para la mitad de los segmentos, propusimos una alternativa de baja y otra de alto costo, las cuales serán evaluadas posteriormente para determinar cuál sería más factible de realizar; y en el caso de los otros segmentos sólo fue propuesta una alternativa de bajo costo, la cual también será evaluada para determinar su factibilidad. En cuanto a las acciones por realizar de manera general para todos los segmentos, recomendamos:

- Contar con un programa de mantenimiento periódico tanto de pintura (rayas delimitadoras de carriles, acotamientos, estructuras, rayas logarítmicas, etc.), como de deshierbe y podado de árboles para evitar que estos obstruyan la visibilidad de señalamientos y accesos a la tramo.

- Todos los dispositivos empleados en el proyecto de señalamiento deben cumplir con las especificaciones de la Normativa para la Infraestructura del Transporte, en la parte del Proyecto de Señalamiento y Dispositivos de Seguridad en Calles y Carreteras de la SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1986); asimismo, los dispositivos de contención estarán diseñados y colocados para soportar por lo menos un nivel de prueba TL3 según el Reporte 350 de la NCHRP (National Cooperative Highway Research Program, 1993).

En cuanto a las acciones propuestas de manera particular en cada segmento; estas se enfocan básicamente en la delineación, el señalamiento horizontal y vertical, dispositivos de contención, modificación en el trazo de curvaturas, proyecciones de distribuidores viales, colocar tiras de estruendo, mejorar la sección transversal, construir carriles de aceleración y deceleración, entre otras.

Finalizada la selección de alternativas de mejoramiento para los diez segmentos, continuamos con la evaluación económica, la cual se realizó para comparar los beneficios económicos de las alternativas de mejoramiento propuestas para cada segmento, contra sus costos; con la finalidad de determinar las alternativas más convenientes o rentables.

La estimación de los costos asociados con la implementación de las alternativas de mejoramiento sigue el mismo procedimiento que la realización de costos de estimación para un proyecto de construcción o la implementación de un programa. Los costos anuales o futuros de las alternativas de mejoramiento de construcción o implementación necesitan ser descontados o convertidos a valores presentes. El costo que genera implementar cada alternativa, fue obtenido de acuerdo con la cantidad de cada acción correspondiente a una determinada alternativa que era necesaria y el precio unitario de esta.

En lo referente a la estimación de los beneficios, primeramente requerimos estimar el porcentaje de reducción en los accidentes y sus saldos, de acuerdo con los tratamientos para aumentar la seguridad vial propuestos en cada alternativa de mejoramiento. Esto se realiza con base en los Factores de Reducción de Accidentes (FRA) o bien a partir de los Factores de Modificación de Accidentes (FMA). En caso de que no se disponga de un FRA o FMA para evaluar la reducción debida a un determinado tratamiento para aumentar la seguridad vial, un valor estimado para estos puede ser seleccionado usando el juicio ingenieril. En este trabajo utilizamos los FRA mencionados en el Capítulo 5 para los tratamientos específicos involucrados en las alternativas de mejoramiento propuestas.

Una vez que contamos con los FRA para los tratamientos involucrados en las alternativas, procedemos a estimar el Porcentaje de Víctimas Evitadas (PVE) con

la implementación de cada alternativa, entendiéndose por víctimas, tanto muertos como heridos. Para una alternativa en particular, esto se realiza mediante la siguiente expresión:

$$PVE = \left[ 1 - \prod_{i=1}^n \left( \frac{100 - FRA_i}{100} \right) \right] * 100$$

donde:  $FRA_i$  = Factor de reducción de accidentes del tratamiento  $i$ ,

para  $i = 1, 2, \dots$  hasta  $n$ , donde  $n$  = número de tratamientos incluidos en la alternativa.

Una vez que contamos con la información del número de lesionados y muertos evitados en el año base, procedemos a convertirlos en valores monetarios. Los beneficios anuales de implementar una alternativa de mejoramiento pueden ser calculados multiplicando la reducción predicha por su respectivo costo social. Para los fines de este trabajo, utilizamos costos unitarios promedio por lesionado y muerto, de 100 mil y 400 mil dólares americanos respectivamente (Rivera, C., & Mendoza, A., 2009). Es necesario recordar que el valor estimado de los beneficios se debe convertir finalmente a valor presente neto.

Los tres métodos que empleamos para la evaluación de las alternativas son: el Valor Presente Neto (VPN), la Relación Beneficio-Costo (B/C) y la Tasa Interna de Retorno (TIR); los cuales evalúan la efectividad y factibilidad económica de proyectos carreteros individuales. La evaluación de alternativas servirá para identificar la alternativa económicamente más eficiente para cada segmento, o la siguiente o siguientes más eficientes que convendría implementar en caso de existir restricciones presupuestales.

El horizonte de análisis seleccionado fue de 21 años (construyendo la mejora en el año inicial o 0 y asumiendo 20 años de operación de la ésta), el cual es considerado una vida útil promedio para el tipo de mejoras involucradas en las alternativas. Determinamos una tasa media de crecimiento del tránsito (TMCT) de 5.95%, con base en el análisis del crecimiento del flujo vehicular en el tramo en los últimos cinco años. Asumimos para la TD un valor de 10%, el cual es un valor típico requerido por los bancos de desarrollo (Banco Mundial, Banco Interamericano de Desarrollo) para la gestión de créditos ante ellos. Cabe mencionar que en los costos no descontados a partir del año 1 al 20 incluimos un costo de mantenimiento igual al 1.5% del costo inicial, para reponer el desgaste que genera el tránsito vehicular en la nueva infraestructura implementada; por esta razón, este costo crece anualmente a la TMCT (5.95%). Así pues con base en los valores anteriores determinamos los tres indicadores de factibilidad económica por cada alternativa de mejoramiento propuesta para cada uno de los segmentos.

Los valores obtenidos a través de los indicadores de factibilidad económica considerados para evaluar las alternativas resultaron ser relativamente elevados,

lo cual reitera una elevada rentabilidad económica y social de las acciones de mejoramiento de la seguridad vial. En el caso de los segmentos con dos alternativas, indican que las alternativas de mayor inversión, también resultan ser las más eficientes (con indicadores de factibilidad, como el VPN, más elevados).

Una vez evaluadas para determinar la factibilidad económica, de las alternativas de mejoramiento propuestas, continuamos con la metodología del MSV, en la que debemos proseguir con la priorización de estas. Para ello seleccionamos el método de optimización, ya que permite considerar restricciones presupuestales y otras limitaciones. La solución para este método fue obtenida mediante el planteamiento de un problema de programación lineal en el que maximicemos el valor presente neto total para todos los segmentos sujeto a ciertas restricciones (para más detalles consultar el capítulo 5). Logramos la solución óptima, considerando que existe restricción presupuestal del 80%, 60%, 40%, 20% y 12.3% del monto máximo requerido (US\$ 16'053,501.22) y sin restricción.

En los resultados obtenidos, resulta evidente que el porcentaje presupuestal del 100% favorece la selección de alternativas de mayor costo e impacto, en tanto que la solución de mínimo presupuesto (12.3%) involucra las alternativas de menor costo para todos los segmentos. Cabe destacar que independientemente del porcentaje presupuestal que se consiga, con el fin de obtener más rápidamente el retorno sobre la inversión correspondiente, el mejoramiento de los segmentos será realizado de acuerdo con su prioridad (primero el de prioridad 1, después el de prioridad 2 y así sucesivamente).

De acuerdo con la solución óptima para cada segmento, la manera más eficiente de utilizar el presupuesto otorgado es generar el mayor número posible de selección de la alternativa más costosa en las soluciones de los segmentos, ya que estas presentan un VPN más elevado; es decir esto nos indica que si las alternativas menos costosas son buenas, las de mayor costo son aún mejores.

Respecto a la priorización, podemos observar que en todos los casos ya sea con o sin restricción presupuestaria las que se encuentran en los primeros lugares de prioridad dentro de cada presupuesto, corresponde con las alternativas de mayor inversión para cada segmento; es decir, esto nos demuestra que a pesar de su costo, su prioridad para ser implementada es mayor, ya que nos proporciona un mayor VPN.

Así, finalmente las conclusiones más relevantes a las que llegamos fueron:

- Los accidentes son consecuencias inevitables de la movilidad; y su severidad es el resultado de la energía cinética que disipa un vehículo al impactarse, ya sea contra otro vehículo, contra un objeto o contra una persona; así que se pueden tomar algunas medidas para minimizar las consecuencias del impacto, o para minimizar la probabilidad de que un vehículo se involucre en una situación de riesgo. Sin embargo, mientras exista la movilidad, es probablemente imposible erradicar los accidentes y sus consecuencias.

- Dentro de los factores que contribuyen a la causa de los accidentes, no sólo influyen los de la vía; sino que también es necesario en estudios más detallados, tomar en cuenta el comportamiento del conductor, así como las características del vehículo.
- La infraestructura de seguridad vial tiene un potencial significativo para complementar los esfuerzos que se están efectuando para mejorar la conducta de los usuarios de las vías, esto logra la disminución de la frecuencia y severidad de los accidentes que lleguen a ocurrir.
- La finalidad que pretendemos alcanzar con las alternativas de mejoramiento propuestas para cada segmento, es ayudar a reducir la frecuencia y severidad de los accidentes; con esto lograr un nivel de seguridad mayor en la vía, lo que aumenta también la seguridad de los usuarios de estas. Además, cabe mencionar que independientemente del porcentaje presupuestal que se consiga, con el fin de obtener más rápidamente el retorno sobre la inversión correspondiente, en el mejoramiento de los segmentos se realizarán las alternativas de acuerdo con su prioridad, las que tienen el número 1 serán las que cuentan con mayor prioridad.
- Los tratamientos como el realizar un distribuidor vial o el mejoramiento del trazo horizontal cuentan con un mayor FRA, lo que nos conduce a que se eviten un mayor número de muertos y lesionados; a pesar de que estos requieran de una mayor inversión inicial, no dejan de ser por ello los mejores tratamientos más eficientes por aplicar, entre otros, en el caso de que sean implementados a través de una alternativa de mejoramiento.
- En el resultado de la optimización, podemos comprobar que si se cuenta con un presupuesto adecuado para satisfacer todas las alternativas de mayor inversión e impacto, la selección de estas es la que se efectúa; y en caso de que se cuente con un presupuesto menor, la optimización determina que ya no todas las alternativas de mayor inversión y con mayor VPN, aunque sean las mejores, pueden ser seleccionadas; pero el método sí trata de seleccionar el mayor número posible de estas, y cumplir con el presupuesto con el que se cuente.
- Recomendamos que una vez seleccionadas las alternativas de mejoramiento por implementar; verificar, una vez que se encuentren en operación, si están logrando tener una eficacia satisfactoria.
- A partir de la información recabada, fue posible desarrollar un programa de inversiones para la adecuación, mantenimiento y conservación de la infraestructura vial en el tramo Ciudad Mendoza-Córdoba del Corredor Pacífico. Dado que el análisis efectuado para el tramo aplicando la metodología del MSV es un análisis discreto, por segmentos de 500 m; será necesario efectuar un análisis posterior, que queda fuera de los alcances de esta tesis, para determinar hasta dónde tendrían que extenderse a ambos lados de dichos

segmentos, algunas de las medidas dentro de la alternativa recomendada para cada uno de ellos (p. ej. la implementación de barrera metálica lateral en los segmentos en los que ésta es recomendada, podrá requerirse más allá de los extremos de dichos segmentos).

- Los valores relativamente elevados obtenidos para los tres indicadores de factibilidad económica considerados, en el programa de inversiones, reiteran la elevada rentabilidad económica y social de las acciones de mejoramiento de la seguridad vial.
- Por su impacto en la vida humana y en el bienestar social, las mejoras de la seguridad vial como son las que se realizan en la infraestructura resultan generalmente muy rentables (con altos valores de RBC, VPN y TIR). Además de que estas ayudan a solventar los problemas que ocasiona la inseguridad vial; los cuales disminuyen el desarrollo de las naciones, tanto por los costos médicos, urbanos y viales, como por la pobreza que genera a muchas familias debido a las incapacidades físicas que producen los accidentes.
- Finalmente, la experiencia de aplicación del MSV presentada en este trabajo indica que el MSV es una herramienta de gran utilidad, confiabilidad y aplicabilidad para el desarrollo de programas de mejoramiento de la seguridad vial de las carreteras mexicanas; no obstante, deja ciertas incertidumbres durante el proceso que se sigue hasta llegar al desarrollo del programa de inversiones que se pretende generar. Estas incertidumbres en general cuestiones que hasta este momento no se conocen con precisión (p. ej. el valor de los factores de reducción de accidentes para ciertas medidas específicas).

En la actualidad se está dando una mayor importancia a la seguridad vial, lo cual es muy bueno; ya que, por ejemplo, cuando se detectan deficiencias de seguridad vial en la infraestructura, el solo hecho de realizar una inversión para eliminar esas deficiencias generará además de beneficios económicos y sociales, la satisfacción de salvar vidas y reducir el número de lesionados, y el valor de esta satisfacción no se compara con el monto de ninguna inversión.

Una alternativa efectiva para lograr una reducción significativa en la frecuencia de los accidentes es implementar, en toda el tramo de estudio, una vigilancia rigurosa por parte de las autoridades policíacas correspondientes; para que esto también ayude a que las velocidades a las que transitan los vehículos por este tramo sean las adecuadas.



# 1 Introducción

---

La seguridad vial con que cuenta un camino es de gran importancia; ya que, si esta es inadecuada, puede conllevar a que se presente mayor índice de accidentes, heridos, muertos, etc.; por ejemplo, solo basta el mencionar que los accidentes carreteros son una de las tres principales causas de muerte de personas entre 5 a 44 años de edad; es por ello que es necesario tener un especial cuidado en el aspecto de seguridad vial de un camino, ya que este es recorrido principalmente no sólo por los vehículos (motorizados o no motorizados) sino también por las personas que van en ellos, que deben sentir la seguridad al momento de circular por una carretera.

Existen pequeños detalles en las carreteras, por así nombrarlos, que afectan la seguridad vial; y, por muy pequeños que aparentemente sean, pueden ser capaces de causar grandes estragos, desde un leve accidente hasta uno muy grave con pérdidas de vida. Es por ello que la seguridad vial en un camino resulta ser de gran interés; no porque nosotros no transitemos una vía significa no ponerle atención, sino que cualquier carretera necesita de una adecuada atención; desde el momento en que se está planeando y diseñando hasta que se está construyendo y durante todo el periodo que dure en operación. No dejemos de lado que los conductores al transitar una vía cuentan con el deseo de que esta les proporcione seguridad.

Actualmente existen diversas metodologías encargadas de generar programas de mejoramiento de la infraestructura, a partir de inspecciones en sitio a carreteras en operación, que tienen objetivos similares y siguen principios y procedimientos análogos. Resulta de gran interés saber emplear dichas metodologías, por lo que a través de este trabajo pretendemos aplicar la metodología del Manual de Seguridad Vial de la American Association of State Highway and Transportation Officials publicado en 2010 (American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2010) al tramo carretero Ciudad Mendoza-Córdoba del Corredor Pacífico.

Mejorar sustancialmente la seguridad vial en carreteras es una de las principales preocupaciones con las que se cuenta en los diferentes países. Es por ello que una estrategia que se ha venido desarrollando en México en los últimos años; para tratar de reducir la accidentalidad y sus consecuencias asociadas, ha sido la aplicación de medidas correctivas. Sin embargo, este tipo de medidas, desde el punto de vista de la seguridad vial, representan una solución a un problema manifiesto.

El Manual de Seguridad Vial de la AASHTO 2010 (MSV) sirve para generar programas de mejoramiento de la infraestructura, tanto en lo referente a problemas que se manifiestan en elevadas ocurrencias de accidentes (enfoque correctivo), como a sitios con deficiencias en los que no hay manifestación de accidentes en un momento dado; pero que potencialmente pudiesen dar lugar a elevadas incidencias (enfoque preventivo). La aplicación a la que se refiere este trabajo es básicamente preventiva, por lo que en este sentido es compatible con el enfoque de las denominadas “auditorías de seguridad vial”.

En años recientes, se ha buscado complementar la estrategia correctiva; con un enfoque que, en vez de ser una solución a un problema manifiesto, contribuya a prevenirlo mediante un análisis de riesgos. Uno de los principales esfuerzos dirigidos a este fin ha sido el desarrollo e implantación de un proceso de auditorías de seguridad vial.

Según Austroads, una Auditoría de Seguridad Vial (ASV) “es un examen formal de un proyecto vial, o de tránsito, existente o futuro, o de cualquier proyecto que tenga influencia sobre una vía, en donde un equipo de profesionales calificado e independiente informa sobre el riesgo de ocurrencia de accidentes y del comportamiento del proyecto desde la perspectiva de la seguridad vial” (Association of Australian and New Zealand Road Transport and Traffic Authorities, 2002). Uno de los objetivos que persiguen las auditorías de seguridad vial es evitar el próximo accidente.

Así mismo, existen premisas básicas que son tomadas en cuenta cuando se llevan a cabo auditorías de seguridad, tales como: (I) La auditoría se basa en cómo se comportan los usuarios, y no en cómo ello se “deben” comportar ni en como quisiéramos que se comportasen; (II) Mientras más temprano se pueda desarrollar una auditoría en el desarrollo de una obra, menor será el costo de la seguridad vial para la sociedad; (III) El objetivo no es encontrar culpables, sino evitar el próximo accidente; (IV) El cumplimiento de las normas, no garantiza una vía segura; (V) una vía segura no requiere de una gran destreza del conductor; y (VI) La ingeniería de seguridad vial es algo que se aprende con la experiencia, no se puede enseñar. Es importante señalar los aspectos a los cuales una auditoría no tiene injerencia, es decir, lo que una auditoría no es. Esos aspectos son los siguientes: (I) No es un ajuste del proyecto; (II) No se aplica sólo a proyectos de alto costo; (III) No es un chequeo o examen informal; (IV) No es una metodología para seleccionar entre proyectos o soluciones alternativas; y (V) No debe entenderse como un chequeo de conformidad de un proyecto con los estándares de diseño.

Podemos realizar la intervención de una auditoría de seguridad en cualquier etapa del proceso de mejora vial (ya sea tramo nuevo o mejora de tramo existente) que por lo general incluye las siguientes etapas: planeación, diseño, construcción y operación. Recientemente, cuando una auditoría es llevada a cabo en una vía en operación, ha sido llamada Inspección de Seguridad.

En 2008, Impulsora del Desarrollo y el Empleo en América Latina, S.A. de C.V. (IDEAL) preocupado por mejorar el nivel de la seguridad vial de la red de autopistas que opera requirió realizar auditorías de seguridad vial a la red de 800 kilómetros que administra y para ello solicitó al Instituto Mexicano del Transporte (IMT) la elaboración de una propuesta técnico-económica con los objetivos de cumplir con las características de seguridad, mejorar los activos carreteros y ofrecer vías de comunicación de mejor calidad a los usuarios. Dicha propuesta fue sometida a la consideración de IDEAL, quedó oficializada la realización del trabajo y fue ejecutada este mismo año.

Para realizar las auditorías de seguridad vial de dicha red el IMT desarrolló una metodología siguiendo el método tradicional de auditorías, que de manera general se resume en los siguientes pasos: (I) Recopilación de información base (obtención de planos de localización, trazo, información de accidentes, tránsito, etc.); (II) Revisión y evaluación de la información base, para ubicar sitios potencialmente peligrosos y prestar especial atención al momento de la inspección y sitios detallados; (III) Inspección de campo, mediante recorridos diurnos y nocturnos en ambos sentidos, levantado con el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) el trazo de la carretera; para ubicar, con el Indicador de Velocidad de Curva Segura (Safe Curve Speed Indicator), aquellas curvas en las que para la velocidad marcada en el camino, el indicador abandonaba la zona de seguridad, lo cual señala que esa curva requiere atención. En esta etapa de la inspección, llevamos a cabo la grabación en video del tramo en estudio, así como un registro fotográfico de atributos de la autopista que representaran un riesgo a la seguridad del usuario. Mediante las listas de chequeo, verificamos los atributos como señalamiento horizontal y vertical, sección transversal, zonas laterales, etc. Otra actividad adicional y de gran ayuda, fue el levantamiento de velocidades de punto en distintos lugares del tramo, para conocer mediante el análisis de datos, la velocidad de operación de los vehículos que circularon al momento de la inspección. Obtuvimos dicha velocidad de operación mediante el producto del percentil 85; (IV) Análisis de la información obtenida producto de la inspección, determinar las observaciones y riesgos; así como hacer las recomendaciones necesarias para cada situación que representara un riesgo para el usuario, además de un breve análisis de accidentes del tramo; y (V) Realizar el reporte de auditoría.

La aplicación del proceso de auditoría por parte del IMT permitió identificar las fallas en materia de seguridad vial y proponer las acciones para subsanarlas, tuvimos como resultado para cada autopista un programa de acciones prioritarias y acciones masivas enfocadas a mejorar la seguridad vial.

Diversas metodologías de programas de mejoramiento de la infraestructura a partir de inspecciones en sitio a carreteras en operación han sido creadas; en los últimos años, investigaciones recientes en materia de auditorías de seguridad vial, han dado como resultado un proceso automatizado para llevar a cabo esta tarea; fruto de ello es el Programa Internacional de Evaluación de Carreteras iRAP

(International Road Assessment Programme), a partir del cual ha aprovechado la amplia base de conocimientos de los programas mundiales de evaluación de carreteras en Europa (EuroRAP), Australia (AusRAP) y Estados Unidos (usRAP); con el apoyo generoso de la Fundación de la Federación Internacional del Automóvil (FIA), para desarrollar una metodología de inspección de carreteras para países en vías de desarrollo y de economías emergentes (bajos ingresos).

Este procedimiento consiste en la identificación de las fallas de seguridad de la infraestructura, a partir del levantamiento del inventario de la red bajo estudio a velocidad operativa del tránsito, con equipos especializados. También proporciona una calificación de las carreteras de dicha red, con base en el nivel de seguridad alcanzado por los elementos que la integran. El procedimiento es una evaluación superficial de toda la red, que permite cuantificar el monto del programa de acciones requeridas para mejorar las fallas detectadas y elevar el nivel de las carreteras con baja calificación hasta un nivel aceptable.

-Cabe mencionar que por parte del IMT, llevamos a cabo en septiembre del 2010- la "Reducción de Datos del Corredor Pacífico del Proyecto Mesoamericano", dentro del proyecto de aplicar la metodología IRAP en dicho corredor, la cual consistió en reducir información de aproximadamente 4,500 kms de carreteras correspondientes a este corredor. Esto se hizo con base en los datos recolectados en video, los cuales fueron utilizados posteriormente para registrar los elementos de la infraestructura vial. Los videos fueron grabados utilizando un vehículo de inspección especialmente equipado que registra imágenes digitales de una vía a intervalos de 20 metros, usando una variedad de cámaras alineadas para captar toma panorámica (hacia adelante, al lado izquierdo y al lado derecho). Después de recopilados los datos del video, realizamos una inspección a nivel de escritorio, de los elementos de la infraestructura vial; lo que vendría a ser una inspección virtual de la red, mediante el empleo de un software especializado para hacer mediciones con bastante precisión de elementos tales como anchos de carriles, ancho de acotamientos y distancia entre el borde de la vía y peligros fijos, tales como árboles y postes grandes. Al final de cada tipo de inspección, elaboramos un informe detallado de la condición de la vía que resume muchas características de la calzada para la red inspeccionada. El informe contiene información como la porción de la red que tiene acotamientos pavimentados y el número de ubicaciones que tienen cruces peatonales adecuados, entre otras. Dicha inspección realizada consistió en evaluar la carretera, pero en segmentos de 100 metros; ya que estos datos eran necesarios para proseguir con la calificación por estrellas, la cual se basa en tramos de carretera de 100 metros de longitud, que fue hecha posteriormente para finalmente poder proponer alternativas de mejoramiento en la seguridad vial del corredor y determinar las que vendrían a ser las óptimas.

Es actualmente -en el 2010- cuando la AASHTO se encarga de publicar el MSV; el cual, fue desarrollado para ayudar a reducir la frecuencia y severidad de los accidentes en las carreteras proporcionando herramientas para considerar la seguridad en el proceso de desarrollo del proyecto. El MSV ayuda a seleccionar

contramedidas y dar prioridad a proyectos, comparar alternativas y cuantificar y predecir el desempeño de la seguridad del camino considerando elementos dentro de la planeación, diseño, construcción, mantenimiento y operación (American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2010).

Es a partir de la metodología mencionada con anterioridad del MSV de la AASHTO, con la que pretendemos llevar a cabo su aplicación en el Corredor Pacífico en su tramo de Ciudad Mendoza-Córdoba perteneciente al Proyecto de Integración y Desarrollo de Mesoamérica (antes Plan Puebla-Panamá); cabe señalar que este corredor forma parte de la Red Internacional de Carreteras Mesoamericanas (RICAM). La longitud total del Corredor Pacífico es de 3,244 kilómetros. De los cuales, aproximadamente 1,100 kilómetros están en territorio mexicano. Este trabajo sólo se refiere al tramo entre los hitos kilométricos 257+000 (en las inmediaciones de Ciudad Mendoza) al 297+000 (en las inmediaciones de Córdoba).

Así como día con día han sido creadas nuevas metodologías de programas de mejoramiento de la infraestructura a partir de inspecciones en sitio a carreteras en operación, resulta interesante enfocar el presente proyecto de investigación a la recientemente metodología publicada en el MSV; ya que así nos adentraríamos en una de las más recientes tecnologías y con ello podríamos realizar incluso comparativas posteriormente con la ayuda de este trabajo, con otra metodología existente, para de una manera menos subjetiva determinar cuál metodología sería la más conveniente a emplear en programas de mejoramiento de la seguridad vial de la infraestructura carretera en México; lo que cada vez más cobra mayor interés dentro del mundo de las comunicaciones terrestres; esto, debido a que estamos logrando hacer una mayor conciencia en cuanto a que una carretera que se ajusta a las normas mínimas de atención y está al día con respecto a las normas y directrices publicadas, no será sinónimo de que cuente con una adecuada seguridad vial, sino que hay que evaluar también su desempeño esperado en términos de frecuencia y severidad de accidentes, para así finalmente determinar su real seguridad vial. Es necesario tener en cuenta que la seguridad vial es una función sustantiva; no sólo de las características básicas de la carretera, sino que es también una función de mantenimiento, cumplimiento de la ley y otros recursos que asignamos a su funcionamiento.

El empezar a utilizar el MSV proporcionará una herramienta adicional para generar programas anuales de mejoramiento de la seguridad vial de las carreteras, que sirvan como respaldos confiables y creíbles en la gestión permanente de los presupuestos anuales requeridos ante las autoridades hacendarias.

La seguridad vial cuenta con dos dimensiones: la seguridad nominal y la cuantitativa, esta última es en la que está enfocado el MSV; es decir, se encarga de determinar la frecuencia y severidad actual o esperada de los accidentes en las carreteras (Krammes, R., 2009).

El propósito del MSV es proporcionar la mejor información y herramientas en una forma útil para facilitar la planificación, diseño, operación y mantenimiento de la carretera basada en la consideración explícita de sus consecuencias de seguridad. Por ejemplo, en cuanto a planificación, evalúa los efectos de los programas de seguridad e identifica soluciones potenciales; en el diseño, evalúa la cuestión de seguridad de alternativas de diseño próximas; en la operación y mantenimiento, evalúa la efectividad de las medidas implantadas; esto sólo por mencionar algunas.

En términos generales, el MSV publicado en el año 2010 en su primera edición se divide en cuatro partes:

- 1) Introducción, factores humanos y fundamentos.
- 2) Procesos de gestión de seguridad en las carreteras.
- 3) Métodos predictivos.
- 4) Factores de modificación de accidentes (FMA).

Dentro de la segunda parte, el MSV permite generar programas multianuales de mejoramiento de la seguridad vial en la infraestructura para una red carretera considerada, a través de los siguientes pasos:

- División de la red en segmentos homogéneos;
- Diagnóstico sobre las condiciones de seguridad de cada segmento;
- Selección, a partir de una serie de alternativas, de la contramedida más conveniente para cada segmento;
- Evaluación económica de la contramedida seleccionada para cada segmento;
- Jerarquización de las mejoras a realizar en los segmentos, integrando paquetes de proyectos sujetos a ciertos presupuesto anuales; y, finalmente,
- Estimación de la efectividad del programa multianual de mejoras para la red, para un horizonte de análisis considerado (p. ej. diez años).

En la tercera parte, contamos con métodos predictivos para carreteras rurales de dos carriles y autopistas multicarriles o arterias urbanas/suburbanas.

En la cuarta parte nos habla de los FMA que van a depender de las características de los segmentos de carreteras, la presencia de intersecciones, situaciones geométricas y redes carreteras, entre otros.

El MSV brinda herramientas para realizar análisis cuantitativos de seguridad, al tener en cuenta medidas tales como operaciones de tráfico, los impactos ambientales y los costos de construcción (An Introduction to the Highway Safety Manual, 2010).

El MSV proporciona, de una manera resumida, las siguientes herramientas:

- Métodos para desarrollar y evaluar un programa de gestión de seguridad en el camino.
- Un método de predicción para estimar la frecuencia de accidentes y su gravedad. Este método puede ser usado para tomar decisiones informadas en todo el proceso de desarrollo del proyecto, incluye: planificación, diseño, operaciones y mantenimiento. Ejemplos específicos implican la detección de posibles ubicaciones, la mejora y la elección de diseños alternativos en carreteras.
- Un catálogo de factores modificación de accidentes (FMA) para una variedad de tipos de tratamiento tanto geométricos como operativos, respaldado por pruebas sólidas científicas.

Cabe mencionar; que, a diferencia de otras publicaciones de AASHTO, el MSV no prescribe o manda algún "nivel de seguridad de servicio" o "nivel de seguridad mínimo" para cualquier camino.

Objetivo general:

“Gestionar alternativas de mejoramiento para el tramo Cd. Mendoza-Córdoba utilizando el Manual de Seguridad Vial de la AASHTO 2010”

Objetivos particulares:

- Familiarizarse con la metodología en el MSV, y aplicarla a un caso particular.
- Generar la información que permita desarrollar un programa de inversiones para la adecuación, mantenimiento y conservación de la infraestructura vial en el tramo Ciudad Mendoza-Córdoba del Corredor Pacífico.
- A final de cuentas, generar elementos que permitan juzgar el nivel de aplicabilidad del MSV a la generación de soluciones para el mejoramiento de la infraestructura carretera mexicana.

La metodología de elaboración de la presente tesis consiste de los siguientes pasos:

- Recopilar información bibliográfica sobre el MSV.

- Familiarizarse con el MSV.
- Acudir al tramo carretero Ciudad Mendoza-Córdoba, para recopilar la información de campo requerida por el MSV. En el primer capítulo presentaremos el desarrollo de este paso.
- Aplicar secuencialmente las actividades del MSV, las cuales son: (I) revisión del tramo, (II) diagnóstico, (III) generación de alternativas de mejoramiento, (IV) evaluación económica y (V) priorización de mejoras. El segundo capítulo presentará el desarrollo de las actividades (I) y (II) anteriores; el tercer capítulo describirá el desarrollo de la actividad (III); y el cuarto capítulo presentará el desarrollo de las actividades (IV) y (V).
- Generar un conjunto de conclusiones y recomendaciones derivadas de los análisis de los pasos anteriores.
- Redacción de la tesis.

Actualmente, contamos con diversas metodologías que resultan ser de gran ayuda para llevar a cabo de una manera efectiva y eficiente el estudio de mejoramiento de la seguridad vial de la infraestructura carretera; dentro de estas encontramos el nuevo MSV, cuya aplicación resulta ser de gran utilidad para generar programas anuales de mejoramiento de la seguridad vial de las carreteras; y así, a través de esta, obtener programas que servirán como respaldo en la gestión permanente de los presupuestos anuales, además de poder demostrar mediante la ejemplificación si la aplicación del MSV generará adecuados programas para México; es decir, si este es aplicable en nuestro país.

A su vez, crea una visión más clara para posibles investigaciones futuras a partir de esta, que puedan contribuir a descubrir nuevas y mejores metodologías o perfeccionar las ya establecidas.

## 2 Información del tramo Ciudad Mendoza-Córdoba

---

El tramo Ciudad Mendoza-Córdoba forma parte del Corredor Pacífico; el cual, a su vez, pertenece al Proyecto de Integración y Desarrollo de Mesoamérica (antes Plan Puebla-Panamá), así como a la Red Internacional de Carreteras Mesoamericanas (RICAM). La longitud total del Corredor Pacífico es de 3,244 kilómetros; de ellos, aproximadamente 1,100 kilómetros se encuentran en territorio mexicano. Este trabajo solo lo referimos al tramo entre los hitos kilométricos 257+000 (en las inmediaciones de Ciudad Mendoza) al 297+000 (en las inmediaciones de Córdoba); dicho tramo pertenece a la red federal de cuota de la carretera Puebla-Córdoba, cuya ruta es MEX 150-D, que actualmente es una red operada por Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE).

### 2.1 Información requerida

La información requerida por el sistema del MSV -en lo que se refiere a la parte del proceso de gestión de alternativas de mejoramiento de la seguridad vial sobre la infraestructura, en su área de “network screening”- es el registro continuo a lo largo del tramo carretero, de las variables siguientes:

*Tipo de zona (rural/suburbana/urbana):* para decidir cuál metodología del MSV será aplicada a un sitio particular, es necesario conocer el tipo de zona. La mayoría de los organismos viales cuentan con datos que clasifican los lugares como rurales o urbanos, porque la clasificación por tipo de zona es necesaria para la planificación. La distinción entre zonas rurales y urbanas (o suburbanas) no se basa en los límites municipales, porque hay muchas zonas con el desarrollo urbano fuera de los límites de la ciudad y algunas zonas rurales que están dentro de los límites de la ciudad. En la mayoría de los casos, la distinción entre zonas rurales y urbanas (o suburbanas) en los datos de organismos viales se basa en los límites oficiales establecidos por la Federal Highway Administration (FHWA), para las zonas urbanizadas (más de 50,000 habitantes) y las zonas sub urbanas (5,000 a 50,000 habitantes). Zonas fuera de los límites urbanos FHWA, incluidas las zonas no desarrolladas y ciudades con poblaciones inferiores a 5,000 habitantes, son consideradas rurales. Sin embargo, no hay una distinción claramente aceptada entre las zonas urbanas y suburbanas. Donde esta distinción es necesaria, es recomendable que las carreteras con velocidades de operación de 30 mph (50 km/hr) o menos sean clasificadas como urbanas y carreteras con velocidades de operación de más de 30 mph (50 km/hr) como suburbanas.

*Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA):* es el número de vehículos que pasan por un lugar dado durante un año, dividido entre el número de días del año (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1984). Se basa en conteos múltiples durante el año o es determinado a partir de un simple conteo con ajustes para tener en cuenta las variaciones estacionales. Cuando no tengamos el TDPA, el dato introducido al MSV será la mejor aproximación de Tránsito Diario Promedio disponible. Los volúmenes de tráfico suelen cambiar de un año a otro. En la mayoría de los sitios el volumen de tráfico crece cada año, pero los decrementos anuales en los volúmenes de tráfico también son posibles. La metodología del MSV es aplicada en un año a la vez, por lo que la mejor estimación disponible del volumen de tránsito del año de interés es la empleamos. Para periodos de análisis multianuales, la metodología del MSV es aplicada varias veces. Los volúmenes de tránsito para cada año del período de análisis, son previstos a partir del TDPA para el año más reciente disponible y la mejor estimación existente de la tasa de crecimiento del volumen de tránsito (o disminución). Se expresa en unidades de vehículos/día.

*Longitud de segmento carretero:* para determinarla, es necesario elegir la longitud en la cual el segmento cuente con características homogéneas. Si un límite de segmento carretero está localizado en una intersección, su longitud será medida a partir del centro de la intersección. La longitud del segmento carretero puede ser determinada a partir de datos existentes en archivos disponibles de inventarios o planes de construcción. Cuando no contamos con la existencia de datos disponibles, las longitudes de los segmentos serán medidas en campo.

*Carril:* faja de ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1991). El ancho promedio del carril del segmento de la carretera será expresado con una aproximación de 0.15m. El número de carriles dentro de la calzada de un camino es variable, de acuerdo con las especificaciones con las que cuente. El número de carriles en un segmento de carretera introducido en las metodologías del MSV es el de carriles de largo recorrido; los cuales son normalmente dos, cuatro o seis carriles. Carriles auxiliares como los existentes para dar vuelta, carriles de ascenso, u otros añadidos a la carretera por sólo una distancia limitada no se contarán como carriles. En relación con el ancho de carril, la variable que utiliza el MSV se proporciona en unidades de pies (ft). La figura 2.1 ilustra sobre la imagen de una carretera multicarril real, el ancho de su carril derecho y de su carril izquierdo.

*Número de carriles de largo recorrido:* dentro del número de carriles con el que cuente la carretera; los segmentos en que se presentan carriles para dar vuelta, de ascenso u otro tipo de carriles añadidos a la carretera sólo por una distancia limitada no serán contados como uno de ellos.



**Figura 2.1 Ancho del carril izquierdo y del carril derecho en una carretera multicarril real.**

*Ancho de acotamientos:* es el ancho, en sección transversal, de la faja contigua a la calzada; comprendida entre su orilla y la línea de hombros de la carretera o, en su caso, la guarnición de la banqueta o de la faja separadora central. Los acotamientos proporcionan un lugar para que los vehículos se estacionen cuando sufran algún desperfecto o por cualquier otra causa. El ancho de los acotamientos promedio en el segmento de la carretera, será expresado con una aproximación de 0.15 m. La figura 2.2 ilustra sobre la imagen de una carretera multicarril real, el ancho de su acotamiento derecho y de su acotamiento izquierdo.



**Figura 2.2 Ancho del acotamiento izquierdo y del acotamiento derecho en una carretera multicarril real.**

*Tipo de acotamiento:* El tipo de acotamiento será clasificado con base en el tipo de material con fue construido; en la metodología del MSV hay cuatro tipos de acotamientos: pavimentados, con grava, con césped y compuestos. El compuesto es el acotamiento que está pavimentado en una parte de su ancho y en la otra cuenta con grava o césped. En relación con el ancho de acotamiento, la variable que utiliza el MSV está en unidades de pies (ft).

*Faja separadora central:* es la zona que dispuesta para prever que los vehículos que circulan en un sentido puedan llegar a invadir los carriles de sentido contrario, en caso de descontrolarse (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1984). Es de anchura variable y suele estar limitada por rayas de pintura o por guarniciones, que son construidas central o lateralmente, además sirve para separar el tránsito de vehículos en el mismo sentido. Puede contar con aberturas para accesos. En relación con el tipo de faja separadora central, la variable que utiliza el MSV adquiere los siguientes valores: 0, si no hay faja separadora central; 1, si hay faja separadora central y solo está pintada; 2, si hay faja separadora central y cuenta con bordillo; 3, otros. El dato del ancho de la faja separadora central aparece en el MSV, en unidades de pies (ft).

*Ancho de la faja separadora central:* El ancho de la faja separadora central es medido entre los bordes de los carriles, por lo que carriles auxiliares y hombros internos que puedan quedar en determinado momento dentro de los bordes son incluidos en el ancho de ésta. La figura 2.3 ilustra sobre la imagen de una carretera multicarril real, el ancho de su faja separadora central.



**Figura 2.3 Ancho de la faja separadora central en una carretera multicarril real.**

*Presencia de barrera de concreto en la faja separadora central:* La presencia de una *barrera central de concreto* en el segmento, también viene a ser una variable

de entrada de la metodología del MSV. La figura 2.4 ilustra, sobre la imagen de una carretera multicarril real, la presencia de barrera de concreto en la faja separadora central.



**Figura 2.4 Presencia de barrera de concreto en la faja separadora central en una carretera multicarril real.**

*Talud en las Zonas Laterales:* es la inclinación de la superficie de los cortes o de los terraplenes (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1984). El talud en las zonas laterales de la carretera es una variable de dato de entrada para el MSV, y al momento de obtener su valor, es el que representa a éste, inmediatamente fuera del hombro de la carretera (p. ej. 1V:2H, o más plano 1V:7H).

## 2.2 Obtención de la información del tramo

La metodología que seguimos para llevar a cabo la recolección de datos del tramo fue la siguiente:

Realizamos una inspección inicial de campo en la que identificamos segmentos a cada 1000 metros, y cuando existe un cambio significativo en cualquiera de las variables definidas en la sección anterior. Hicimos recorridos en vehículo, en donde observamos la infraestructura y el entorno. Vimos las características físicas y operativas (p. ej. tipo de alineamiento horizontal y vertical, comportamientos de los conductores, velocidades desarrolladas). Registramos la velocidad límite que se presentaba en el camino. Además, realizamos un estudio detallado de campo donde localizamos, por medio de coordenadas geográficas, el sitio de estudio; esta actividad se realiza con la ayuda del equipo de sistema de posicionamiento global GPS (por sus siglas en inglés "Global Positioning System"), y su solución de Mapa-móvil. Conforme vamos recorriendo la zona en estudio, registramos en el GPS y el Mapa-móvil las características físicas más relevantes del tramo, como es el alineamiento horizontal. Las características y la información obtenida durante el

levantamiento son incorporadas en el Sistema de Información Geográfico (SIG), que en este caso se hace con el software ArcView y posteriormente transferidas al software de AutoCAD, para elaborar el trazo final del sitio; cabe mencionar que un SIG es una herramienta que permite la integración de base de datos espaciales y la implementación de diversas técnicas de análisis de datos (Peña, J., 2006).

Por otra parte, durante el recorrido, tomamos una serie de fotografías en cada segmento de 1000 m., así como en lugares que contaban con características relevantes que pudieran ser de ayuda. También filmamos video durante todo el tramo, para observar el trazado que va siguiendo la autopista antes, durante y después del segmento de estudio; así como detalles de relevancia que servirán para el presente trabajo de investigación; durante la filmación de este hicimos anotaciones del kilometraje, para saber del lugar que se trataba posteriormente.

## 2.3 Información recopilada

Una vez que realizado lo anterior, hicimos un *estudio detallado de gabinete* en cada cuerpo, principalmente con la ayuda de las fotografías y el video, en el que determinamos:

De acuerdo con algunas de sus características de proyecto del tramo:

El ancho y número de carriles; el tipo, ancho y si es que cuenta con accesos la faja separadora central; si existen caminos de accesos; ancho de acotamiento y tipo; si hay barrera central de concreto.

De acuerdo con algunas características de operaciones de tránsito del tramo:

El TDPA que presenta, el cual es obtenido de los datos viales del 2010 del tramo, que son proporcionados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT); su mezcla de vehículos, que también está en los datos viales del 2010 proporcionados por la SCT; el volumen de tránsito en accesos, así como el volumen de tránsito en el tramo, esto es obtenido de estudios realizados con anterioridad de capacidad vial en dicho tramo por el Instituto Mexicano del Transporte (García, A., Mendoza, A., Centeno, A., Abarca, E., Villegas, N., y Soria, V., 2008); la velocidad del proyecto, obtenida del señalamiento con que contaba el tramo, y la velocidad media del vehículo, así como la variación de velocidad que existe entre estos, obtenida de estudios realizados con anterioridad por el IMT en dicho tramo (García et al., 2008); además, determinamos el uso de suelo adyacente a la carretera, además de ser importante el no olvidar considerar que este tramo cuenta con la afección de presentar la mayor parte del año pavimento mojado.

La información recopilada con anterioridad, a partir del material con que contamos, aparece en el Anexo A en la Tabla A.1: Características de Proyecto y Operación

del Tramo Carretero Cd. Mendoza-Córdoba utilizadas en el MSV para la predicción de la variación de accidentes (carretera rural multicarril) , en esta presentamos los valores de las variables de interés para evaluar los segmentos de la carretera multicarril de este trabajo de investigación, los segmentos en que se encuentra dividido el tramo son de 1000 mts para la inspección de campo, aunque también aparecen segmentos de menor longitud debido a que presentan variaciones importantes en los valores de dichas variables.

De acuerdo con los valores de la Tabla A.1 y el recorrido realizado en ambos sentidos, tenemos que el tramo de estudio corresponde a una carretera rural multicarril, además lo siguiente es importante de destacarse según la secuencia kilométrica en cada sentido:

*Sentido A* (de Ciudad Mendoza a Córdoba; es decir, en el sentido en que el kilometraje crece), se tiene que:

- En la figura 2.5 aparece la imagen correspondiente a la carretera multicarril Cd. Mendoza-Córdoba, en el km 261+000; en este sitio podemos observar -al fondo de la imagen- que la barrera de seguridad central se encuentra en mal estado, debido a un impacto que sufrió. Esto genera problemas en la seguridad vial; ya que al momento de volver a sufrir un impacto, no serviría de una manera adecuada y satisfactoria, por encontrarse en condiciones inadecuadas.



**Figura 2.5 Presencia de barrera de seguridad en la faja separadora central destruida en el km. 261+000.**

- La figura 2.6 muestra la imagen correspondiente a la carretera multicarril Cd. Mendoza-Córdoba, en el km 263+000; en este sitio podemos observar, al fondo de la imagen, que la barrera de seguridad al lado derecho de la vía se encuentra incompleta e inmediatamente a un lado existe un precipicio, por lo que es necesario que sea reparada urgentemente, para generar una adecuada seguridad vial. También vemos que presenta una curva horizontal izquierda de 5° aproximadamente, lo que hace aún más necesaria la barrera de seguridad derecha que se encuentra incompleta; aunado a esto, el tramo donde vuelve a comenzar la barrera representa un objeto de peligro en dado caso de que un

vehículo llegara a impactarla en su inicio, ya que podría hasta acabar con la vida de los usuarios.



**Figura 2.6 Presencia de barrera de seguridad lateral derecha destruida en el km. 263+000.**

- La figura 2.7 ilustra la imagen correspondiente a la carretera multicarril Cd. Mendoza-Córdoba, en el km 263+260; en este sitio se encuentra el acceso hacia Nogales y Río Blanco. Debido a los accesos con los que cuenta este lugar, se generan interferencias con el tránsito y originan bastantes choques, además vemos la presencia de la barrera central de concreto bastante destruida y es inexistente en un segmento de esta, lo cual representa un problema en su infraestructura que genera conflictos de seguridad vial.



**Figura 2.7 Presencia de barrera de concreto en la faja separadora central muy destruida y en segmentos inexistente en el km. 263+260.**

- En la figura 2.8 se vemos la imagen correspondiente a la carretera multicarril Cd. Mendoza-Córdoba, en el sitio km 265+100, donde existe una curva izquierda, en la que -como es posible apreciar- la barrera central de concreto presenta pequeños segmentos con impactos de vehículos que van por el

cuerpo B en dirección hacia Cd. Mendoza; además de esto, en el cuerpo A - debido al talud lateral tan pronunciado que aparece al fondo de la imagen- constatamos la presencia de bastantes derrumbes; y, al encontrar fragmentos de roca en el pavimento durante la circulación de los vehículos, esto representa un grave problema que genera en un determinado momento grandes conflictos en la seguridad vial.



**Figura 2.8 Presencia de impactos en la barrera central de concreto en el km. 265+100 y derrumbes al fondo debido al talud pronunciado.**

- La figura 2.9 ilustra la imagen correspondiente a la carretera multicarril Cd. Mendoza-Córdoba, en el sitio km 267+500, donde se encuentran una curva circular inversa, como vemos en la figura; además al fondo se puede apreciar un talud lateral derecho pronunciado que continuamente origina derrumbes, y al haber fragmentos de roca en el pavimento durante la circulación de los vehículos, esto representa un grave problema que genera en un determinado momento grandes conflictos en la seguridad vial.
- En la figura 2.10 vemos la imagen correspondiente a la carretera multicarril Cd. Mendoza-Córdoba, en el sitio km 267+900, donde podemos apreciar tres carriles, ya que el del lado izquierdo, corresponde con un carril de aceleración para incorporación de los vehículos que circulan por el acceso que está en la faja separadora central en dicho sitio, al sentido A del tramo carretero; esto representa un grave problema de seguridad vial, ya que estos tienen que incorporarse en el carril de alta velocidad lo que comúnmente ocasiona choques. También existe un entrecruzamiento de vehículos más adelante donde podemos apreciar la señal informativa, ya que en dicho punto existe un retorno hacia el cuerpo B, lo que conlleva un aumento en el riesgo de accidentes; es decir, en este pequeño segmento hay un primer movimiento de divergencia, seguido por uno de convergencia, lo que aumenta el riesgo de accidentes en el sitio.



**Figura 2.9** Curva circular inversa en el km. 267+500 y derrumbes al fondo debido al talud pronunciado.



**Figura 2.10** Carril de aceleración debido a acceso en la faja separadora central en el km 267+900.

- La figura 2.11 ilustra la imagen correspondiente a la carretera multicarril Cd. Mendoza-Córdoba, en el sitio km 272+000, en la que al fondo se observa un Paso Superior Vehicular (PSV) que conduce hacia Jalapilla, y antes de éste se encuentra su gasa de entrada: el problema aquí es que los vehículos por lo general van a exceso de velocidad y comúnmente debido a la curva horizontal

izquierda (con un grado de curvatura de  $4^{\circ}10'$ ) terminan por estrellarse en la base derecha del puente.



**Figura 2.11 PSV con problemas de choques contra su base derecha por exceso de velocidad de los vehículos en el km 272+000.**

- La figura 2.12 ilustra la imagen correspondiente a la carretera multicarril Cd. Mendoza-Córdoba, en el km 277+000; en este sitio se puede observar que comienza la barrera de seguridad izquierda en la faja separadora central inadecuadamente, ya que en lugar de beneficiar al usuario brindado una adecuada seguridad vial lo perjudica ya que su inicio representa un objeto peligroso al paso de los vehículos por dicho punto. Nótese el mal estado del pavimento del carril derecho y del acotamiento.



**Figura 2.12 Inadecuado comienzo de la barrera de seguridad en la faja central, en el km 277+000.**

- En la figura 2.13 aparece la imagen correspondiente a la carretera multicarril Cd. Mendoza-Córdoba, en el km 291+750; en este sitio, sobre el cuerpo A, se ubica un entronque de acceso a Córdoba; con su gasa de entrada a la autopista, primero, seguida por su gasa de salida que conduce a la terminal de autobuses de Córdoba. Tanto las operaciones de entrada y salida de la autopista en este entronque, como un área de estacionamiento irregular dentro del derecho de vía inmediatamente después de este, generan interferencias con el tránsito que viaja de frente, en especial con los vehículos que van a exceso de velocidad, lo que produce salidas del camino hacia el cuerpo del sentido opuesto y eventuales invasiones de este. Todo lo anterior genera

graves problemas de seguridad vial, además de que el estacionamiento provisional existente induce problemas de fricción lateral a los vehículos que transitan por la carretera.



**Figura 2.13 Gasa de salida y estacionamiento irregular en el derecho de vía en el km 291+750.**

- En la figura 2.14 vemos la imagen correspondiente a la carretera multicarril Cd. Mendoza-Córdoba, en el km 295+800; en este sitio podemos observar que se encuentra un Paso Superior Vehicular (PSV) que, en sus pilas, no cuenta con la adecuada protección de barreras y amortiguadores de impacto ni con la señalización para advertir al usuario de la presencia de estas, principalmente en la noche, cuando la visibilidad del usuario del vehículo se ve reducida; lo que aumenta el peligro y disminuye la seguridad vial al transitar por dicha carretera.



**Figura 2.14 Pilas de puente sin señalización adecuada, en el km 295+800.**

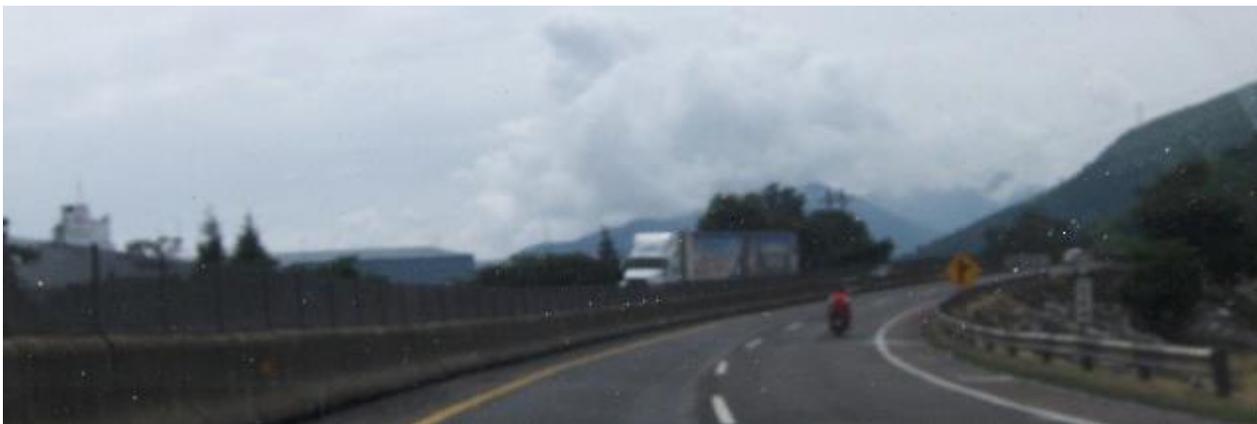
*Sentido B* (de Córdoba a Ciudad Mendoza, es decir, en el sentido en que el kilometraje decrece), se tiene que:

- La figura 2.15 ilustra la imagen correspondiente a la carretera multicarril Cd. Mendoza-Córdoba, en el km 260+000; en este sitio podemos observar que en la faja separadora central no existe una parte de la barrera de seguridad, lo cual puede causar fuertes y graves problemas en la seguridad vial.

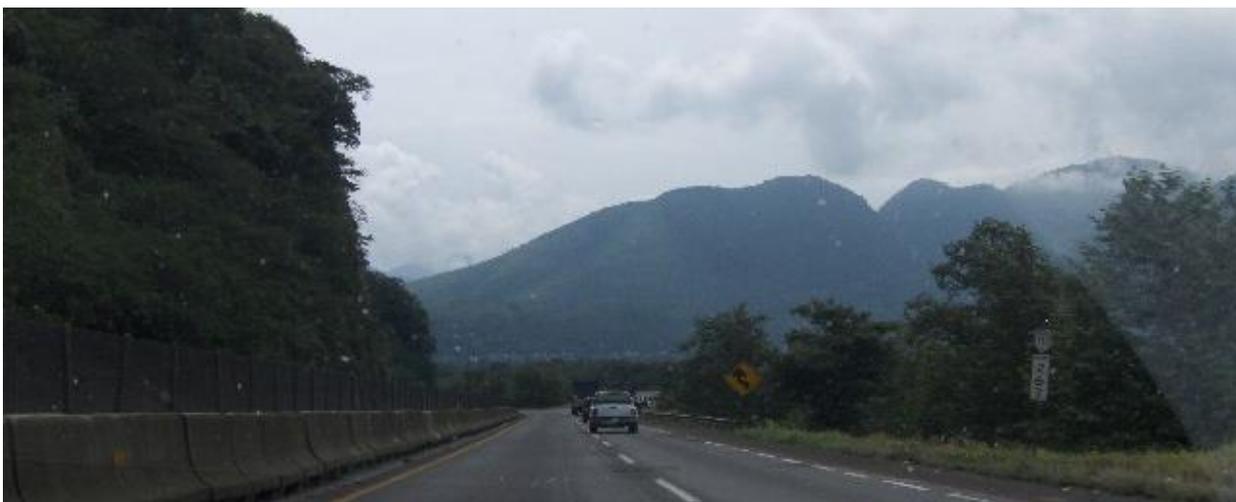


**Figura 2.15 Barrera de seguridad en la faja central incompleta, en el km 260+000.**

- Las figuras 2.16 y 2.17 ilustran las imágenes correspondientes a la carretera multicarril Cd. Mendoza-Córdoba, en los kilómetros 264+000 y 267+000, respectivamente; en estos sitios podemos observar un mal comienzo de la barrera de seguridad derecha, y esto conlleva a que en dichos puntos se disminuya la seguridad vial, ya que esto es causa de peligro para el usuario.



**Figura 2.16 Barrera de seguridad derecha con inadecuado comienzo, en el km 264+000.**



**Figura 2.17 Barrera de seguridad derecha con inadecuado comienzo, en el km 267+000.**

- En la figura 2.18 aparece la imagen correspondiente a la carretera multicarril Cd. Mendoza-Córdoba, en el km 282+000; en este sitio podemos observar la falta de continuidad en un segmento de la barrera de seguridad derecha; lo cual, como ya hemos mencionado con anterioridad, representa un peligro para el usuario y con esto se ve disminuida su seguridad vial al transitar por esta carretera.



**Figura 2.18 Barrera de seguridad derecha incompleta, en el km 282+000.**

- En la figura 2.19 apreciamos la imagen correspondientes a la carretera multicarril Cd. Mendoza-Córdoba, en el km 288+000; en este sitio podemos observar un mal comienzo de la barrera de seguridad que se encuentra en la faja separadora central; por lo que en dicho punto se ve disminuida la seguridad vial, ya que esto es causa de peligro para el usuario.



**Figura 2.19 Barrera de seguridad en la faja separadora central con inadecuado comienzo, en el km 288+000.**

*En ambos sentidos, tanto “A” como “B”, se tiene que:*

- En la figura 2.20 vemos la imagen correspondiente a la carretera multicarril Cd. Mendoza-Córdoba, en el km 264+800; en este sitio existe una curva izquierda, en la que -como es posible apreciar- la barrera central de concreto se encuentra destruida debido a impactos de vehículos que van por el cuerpo B en dirección hacia Cd. Mendoza; además de esto, en el cuerpo A, la defensa metálica también muestra impactos y es inexistente en un segmento; lo cual representa un problema en la infraestructura, que eventualmente genera conflictos de seguridad vial.



**Figura 2.20 Presencia de barrera central de concreto en un segmento inexistente, en el km. 264+800 y defensa metálica lateral derecha con impactos.**

- La figura 2.21 ilustra la imagen correspondiente a la carretera multicarril Cd. Mendoza-Córdoba, en el sitio km 268+600; podemos apreciar que en las zonas laterales de ambos cuerpos de la carretera, aún dentro del derecho de vía, se localizan varios comercios irregulares que dan lugar a paraderos en ambos sentidos; principalmente de vehículos pesados. Esto ocasiona graves problemas en la seguridad vial debido a la salida y entrada de camiones en la carretera, sin la infraestructura y el cuidado suficiente y necesario para llevar a cabo dichas maniobras; lo anterior origina un alto grado de fricción lateral en los vehículos, además de que este lugar también se presta mucho para la afluencia de peatones que cruzan la carretera hasta por más de una ocasión, y arriesgan su vida al hacerlo, ya que tienen grandes posibilidades de ser atropellados. Cabe mencionar que este punto aplica tanto en el sentido A como en el B, ya que en ambos se presentan condiciones semejantes, como se visualiza en la imagen.
- En la figura 2.22 aparece la imagen correspondiente a la carretera multicarril Cd. Mendoza-Córdoba, en el km 285+000; en este sitio observamos un estacionamiento temporal lateral derecho que ocasiona fricción lateral para los vehículos que transitan la vía, lo que representa un peligro; además, la faja separadora central cuenta con una barrera de concreto que no se encuentra interconectada, lo cual le impide cumplir con la función para la que fue puesta

en dicho lugar; al contrario, viene a representar un gran peligro, al ocasionar problemas de seguridad vial.



**Figura 2.21 Paradero de vehículos principalmente pesados y cruce inadecuado de peatones en el km 268+600.**

- En la figura 2.23 vemos la imagen correspondiente a la carretera multicarril Cd. Mendoza-Córdoba, en el km 296+000; en este vemos que en la faja separadora central se encuentran ubicados árboles con un tronco de diámetro bastante amplio, que representa un objeto peligroso al momento en que los usuarios transitan por la vía, pues disminuye la seguridad vial de esta carretera. Como podemos apreciar, esto vendría a representar un problema de seguridad vial en ambos sentidos, tanto en el “A” como en el “B”.



**Figura 2.22 Estacionamiento temporal lateral derecho y barrera de concreto en la faja central sin interconectar, en el km 285+000.**



**Figura 2.23 Árboles con troncos gruesos que representan objetos peligrosos para la seguridad vial de los usuarios, en el km 296+000.**

Cabe mencionar que las imágenes anteriores solo representan lugares puntuales en los que identificamos una inadecuada seguridad vial; y que, además de estos segmentos, existen otros a lo largo del tramo carretero que presentan condiciones similares, con deficiencias que generan inseguridad vial.

Posteriormente, los datos recabados, son procesados de acuerdo con las indicaciones del MSV y se determina, a través de este, la alternativa de mejoramiento más efectiva sobre la infraestructura, con el objetivo de suprimir los factores de riesgo ligados a las características de la autopista y su entorno, así como de disminuir el número y la gravedad de los accidentes.

## **3 Revisión del tramo y diagnóstico**

---

En este capítulo, presentamos la revisión del tramo con el propósito de identificar formalmente los sitios con mayor accidentalidad vial, así como el diagnóstico para determinar la causa de los accidentes en ellos.

### **3.1 Revisión del tramo**

Incluye los siguientes cinco pasos principales: (I) establecer el objetivo, (II) establecer la población de referencia, (III) seleccionar la medida de desempeño, (IV) seleccionar el método de revisión y (V) revisar y evaluar los resultados. A continuación describimos lo realizado, para el tramo de interés, en relación con cada uno de los pasos anteriores.

#### **3.1.1 Objetivo**

Consiste en identificar el propósito o resultado deseado de la revisión del tramo. Influye en los datos requeridos, la selección de medidas de desempeño y los métodos de revisión que pueden ser utilizados.

En este caso, el objetivo de la revisión consiste en identificar los segmentos de 500 metros más peligrosos en cada sentido, considerando que se trata de un tramo de carretera dividida, de 2 carriles por sentido.

#### **3.1.2 Población de referencia**

Según indicamos en la sección anterior, la población de referencia está constituida por todos los segmentos de 500 metros en los dos sentidos, del tramo Ciudad Mendoza-Córdoba.

#### **3.1.3 Medida de desempeño**

Para cuantificar la peligrosidad de cada segmento, Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE) -que es el organismo operador y administrador de esta carretera- utiliza el Número de Accidentes Equivalentes (NAE), el cual se calcula para cada segmento de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\text{NAE} = (\text{ACC} \times 1) + (\text{M} \times 6) + (\text{H} \times 2) \qquad \text{Ec. 3.1}$$

Dónde: ACC = Número de accidentes anuales en el segmento

M = Número de muertos anuales en el segmento

H = Número de lesionados anuales en el segmento

Para cada segmento de 500 metros de los dos sentidos, el NAE fue estimado a partir de la base de datos de reportes de los Servicios Médicos de CAPUFE, para los accidentes ocurridos en ambos sentidos del tramo en el año 2009.

### 3.1.4 Método de revisión

Una vez cuantificado el NAE de todos los segmentos de ambos sentidos, utilizamos como método de revisión la jerarquización de los segmentos por orden decreciente de su NAE, lo que generó la tabla 3.1 que enlista los segmentos que resultaron con mayor NAE para cada sentido. En la primera columna de la tabla aparece cada sentido; en la segunda, los segmentos identificados; en la tercera, el número de accidentes registrado en el segmento en 2009; en la cuarta y la quinta, los números de lesionados y muertos resultantes de dichos accidentes; en la sexta, el NAE de cada segmento; y en la séptima, un número secuencial dado a cada segmento peligroso según su posición en el cadenamamiento, el cual crece de Ciudad Mendoza hacia Córdoba. En dicho número secuencial no influye el sentido, porque el cadenamamiento es el mismo para los dos sentidos.

**Tabla 3.1 Segmentos de 500 metros por sentido con mayor NAE para 2009.**

SENTIDO	SEGMENTO	# ACCIDENTES	# LESIONADOS	# MUERTOS	NAE	No. SECUENCIAL DE ACUERDO AL CADENAMIENTO
Cd. Mendoza -Córdoba	268.5≤ km < 269.0	40	19	0	78	7
	267.5≤ km < 268.0	22	20	1	68	5
	265.5≤ km < 266.0	26	18	0	62	4
	265.0≤ km < 265.5	26	18	0	62	3
	291.5≤ km < 292.0	25	13	1	57	9
	264.5≤ km < 265.0	19	13	0	45	2
	263.0≤ km < 263.5	6	8	0	22	1
	272.0≤ km < 272.5	14	3	0	20	8
Córdoba - Cd. Mendoza	267.5≤ km < 268.0	20	16	1	58	6
	268.5≤ km < 269.0	10	8	1	32	7
	296.5≤ km < 297.0	3	8	0	19	10

### **3.1.5 Evaluación de resultados**

Como podemos observar en la tabla 3.1, en el sentido Ciudad Mendoza-Córdoba fue identificado un mayor número de segmentos peligrosos, así como con mayor valor de NAE, en relación con el otro sentido.

Cabe también destacar que el segmento con cadenamiento  $268.5 \leq \text{km} < 269.0$  aparece entre los más peligrosos, en los dos sentidos; dado que corresponde a un paradero de vehículos a cada lado de las dos coronas, en los que entran y salen de manera lenta, anárquica y con poca precaución, grandes camiones pesados de carga que se mezclan con vehículos que circulan de frente a gran velocidad en los dos sentidos.

## **3.2 Diagnóstico para cada segmento**

Las actividades incluidas en el diagnóstico proveen un entendimiento de patrones de accidentes, estudios pasados y características físicas del tramo; antes de que se efectúe la generación de alternativas de mejoramiento. El objetivo de llevar a cabo la realización del diagnóstico es la identificación de las causas de los accidentes y posibles potenciales de seguridad o patrones de accidentes que puedan ser evaluados posteriormente para proceder a seleccionar las alternativas de mejoramiento más adecuadas.

El diagnóstico incluye los siguientes tres pasos principales: (I) Revisión de los datos de seguridad, (II) Evaluación de la documentación de sustento, (III) Evaluación de las condiciones de campo. A continuación describimos lo realizado, para el tramo de interés, en relación con cada uno de los pasos anteriores.

### **3.2.1 Revisión de los datos de seguridad**

En este paso procedimos a la revisión de los tipos de accidentes y su severidad en los diez segmentos, ya mencionados con anterioridad, que fueron determinados de acuerdo con su nivel de alta peligrosidad. A partir de la base de datos de reportes de accidentes que fueron proporcionados por los Servicios Médicos de CAPUFE, para los accidentes ocurridos en ambos sentidos del tramo en el año 2009, generamos la tabla 3.2, en la que aparece un resumen de los accidentes; además, hicimos gráficas que muestran estadísticas de estos, de acuerdo con el segmento y dependiendo de la severidad o tipo de accidente, que también son mostradas a continuación.

**Tabla 3.2 Resumen de los datos de accidentes.**

SENTIDO*	No. SECUENCIAL DEL SEGMENTO DE ACUERDO AL CADENAMIENTO	# ACCIDENTES	ACCIDENTES SEGÚN SU SEVERIDAD			TIPO DE ACCIDENTE**																
			CON MUERTOS	CON LESIONADOS	SOLO DAÑOS MATERIALES	1	2	3	4	5	6	7	8	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	10	11	12	13
CdM-C	1	6	0	2	4	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0
CdM-C	2	19	0	8	11	4	2	0	0	1	0	7	0	1	0	0	0	1	2	1	0	0
CdM-C	3	26	0	7	19	1	1	0	1	0	0	4	0	0	8	0	0	1	10	0	0	0
CdM-C	4	26	0	6	20	1	1	0	1	0	0	4	0	0	8	0	0	1	10	0	0	0
CdM-C	5	22	1	3	18	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	16	0	2	0
C-CdM	6	20	1	7	12	6	0	0	0	6	0	1	0	0	1	0	0	1	3	0	2	0
CdM-C	7	40	0	13	27	5	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	1	1	24	0	2	1
C-CdM	7	10	1	5	4	2	1	0	0	2	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1
CdM-C	8	14	0	3	11	0	0	2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	10	0	0	0
CdM-C	9	25	1	5	19	9	3	0	0	1	0	0	0	0	1	1	3	0	6	0	1	0
C-CdM	10	3	0	1	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

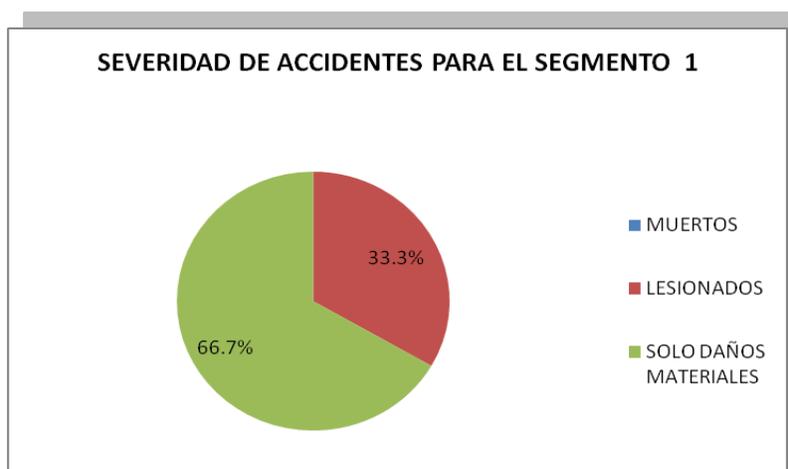
\*CdM-C: Cd. Mendoza-Córdoba, C-CdM: Córdoba-Cd. Mendoza

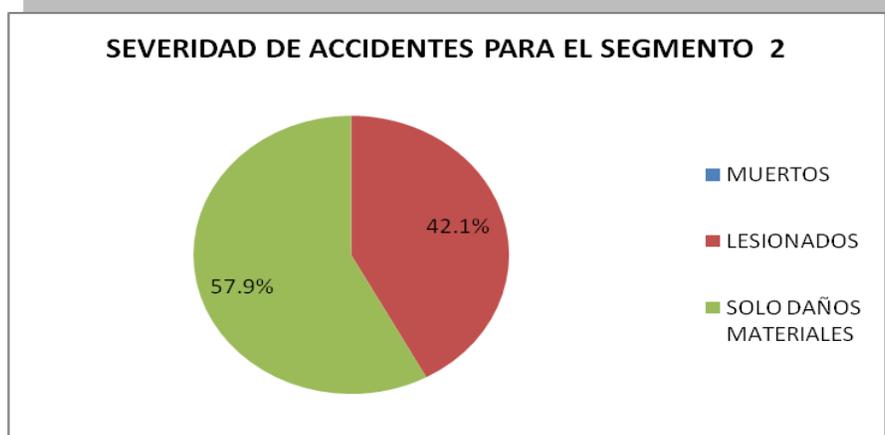
\*\*Los tipos de accidente se mencionan en la Tabla 3.3

**Tabla 3.3 Tipo de accidente.**

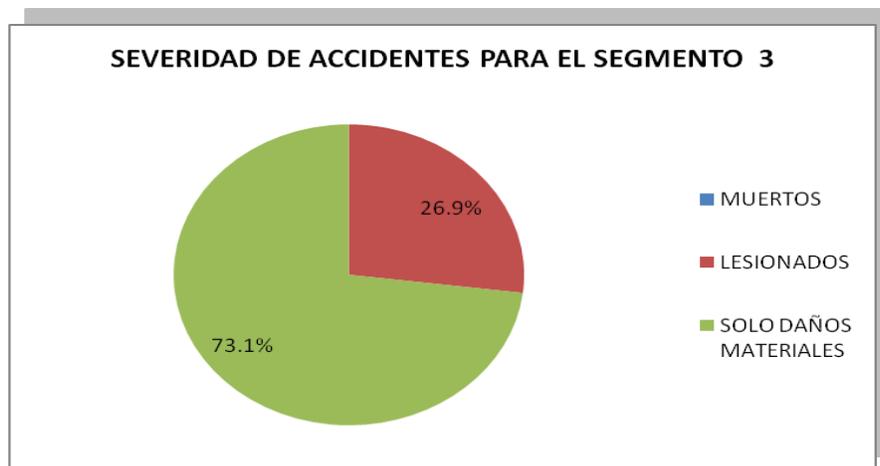
1	Choque por alcance
2	Choque por alcance múltiple
3	Choque lateral
4	Choque de frente
5	Choque de costado
6	Caída de motocicleta
7	Choque contra muro central
8	Choque contra semoviente
9	Choque vs. Objeto dentro de carpeta asfáltica
9.1	Árbol
9.2	Piedra
9.3	Llanta
9.4	Señalamiento provisional
9.5	Otros
10	Salida del camino
11	Salida del camino y desbarrancamiento
12	Volcadura sobre carpeta asfáltica
13	Atropellado

En las gráficas 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.7, 3.9 y 3.11, podemos apreciar cómo en la mayor parte de los accidentes, según su severidad, afortunadamente sólo se presentaron daños materiales; en las 3.5, 3.6, 3.10 presentamos en la mayor parte sólo daños materiales pero ya con la presencia de muertos en estos segmentos, mientras que en la gráfica 3.8, se presentan mayor número de accidentes con lesionados, así como uno con presencia de muertos.

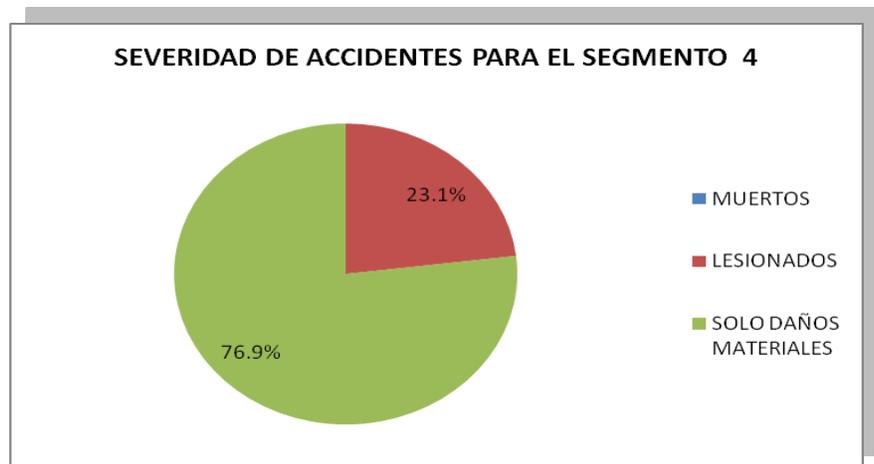
**Gráfica 3.1 Severidad de accidentes para el segmento 1.**



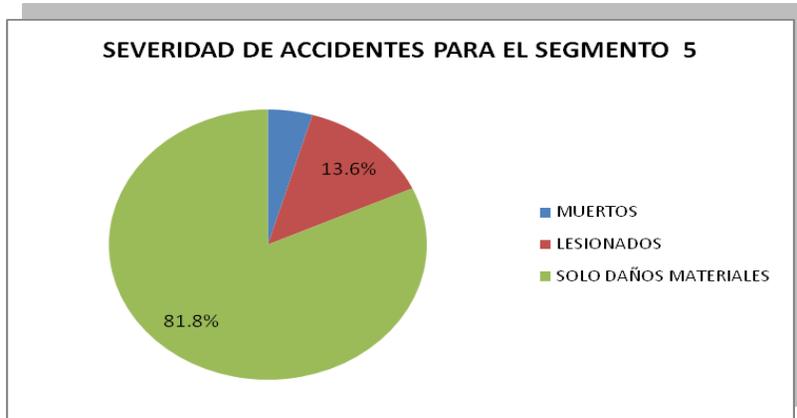
**Gráfica 3.2 Severidad de accidentes para el segmento 2.**



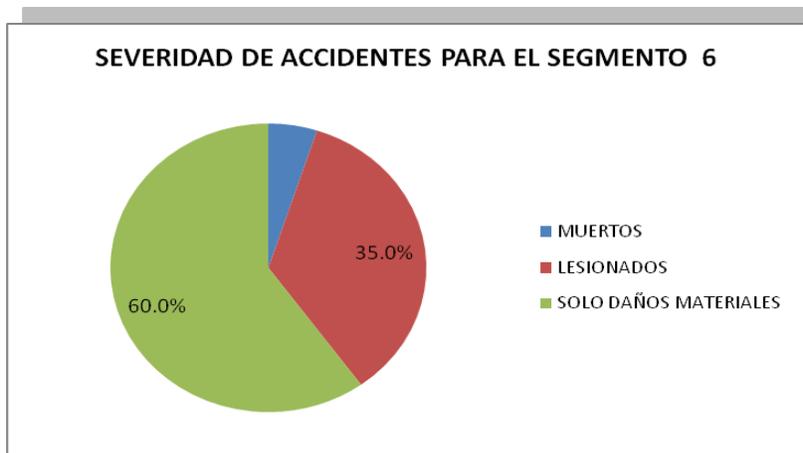
**Gráfica 3.3 Severidad de accidentes para el segmento 3.**



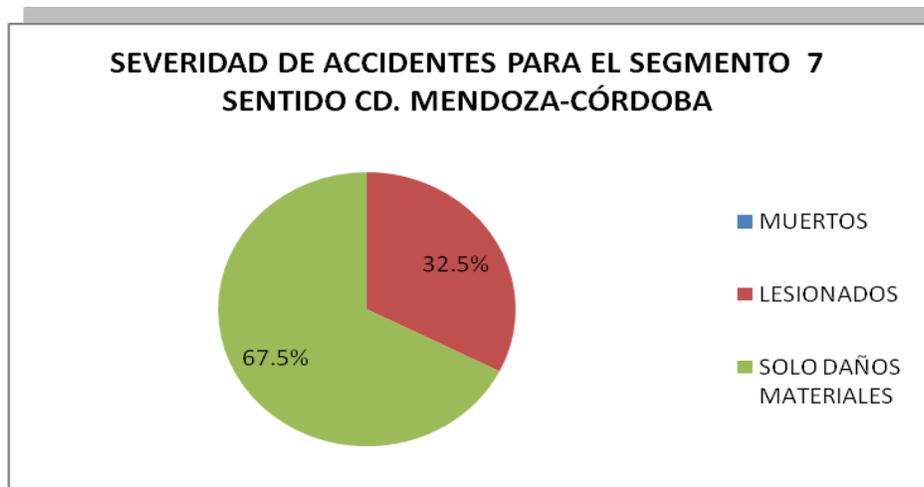
**Gráfica 3.4 Severidad de accidentes para el segmento 4.**



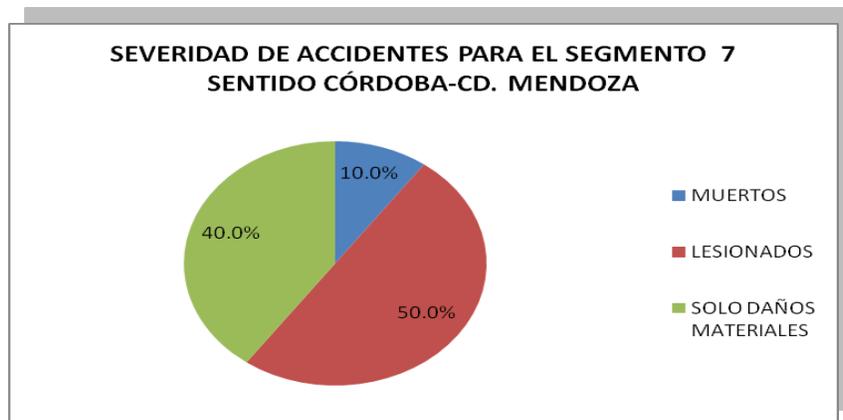
Gráfica 3.5 Severidad de accidentes para el segmento 5.



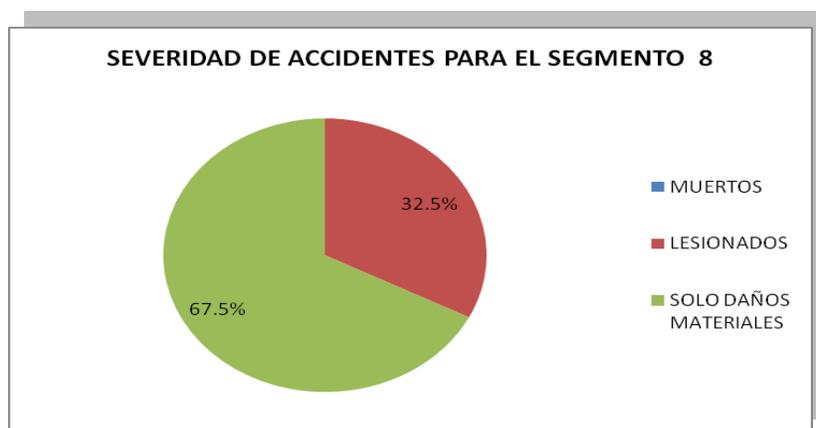
Gráfica 3.6 Severidad de accidentes para el segmento 6.



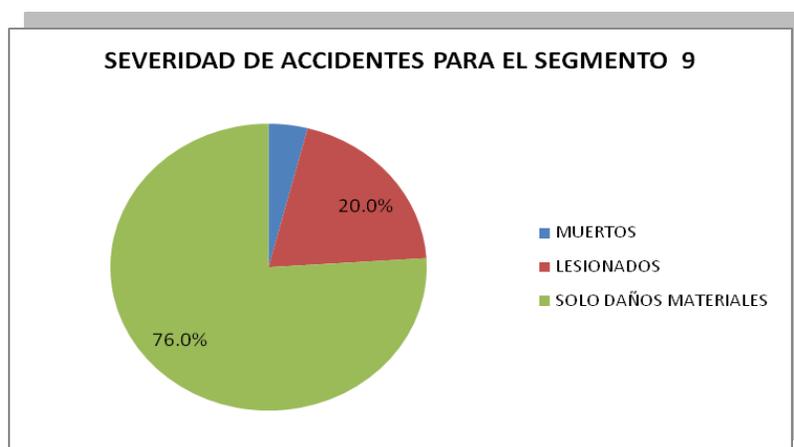
Gráfica 3.7 Severidad de accidentes para el segmento 7. en el Sentido Cd. Mendoza-Córdoba.



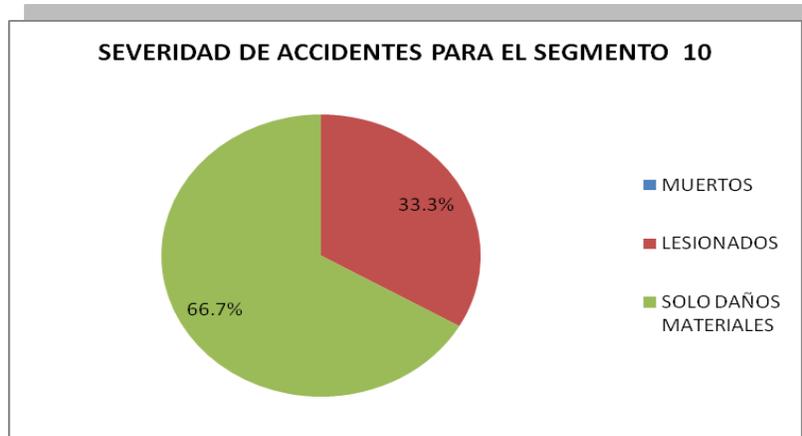
Gráfica 3.8 Severidad de accidentes para el segmento 7, en el sentido Córdoba-Cd. Mendoza.



Gráfica 3.9 Severidad de accidentes para el segmento 8.

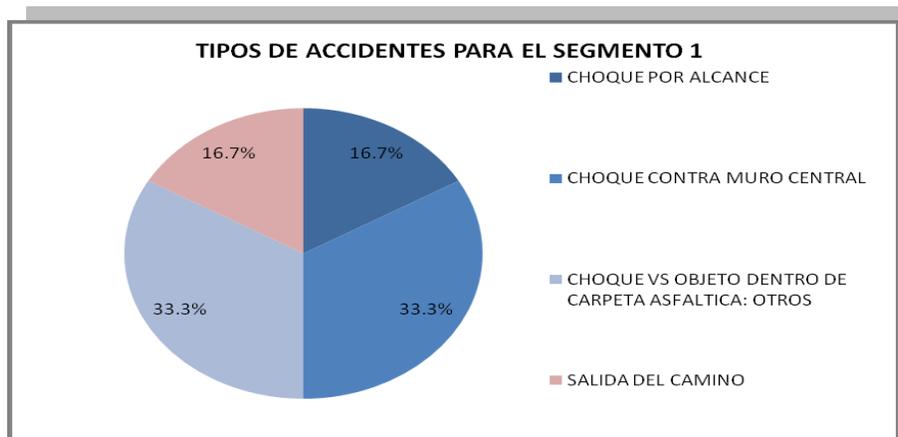


Gráfica 3.10 Severidad de accidentes para el segmento 9.



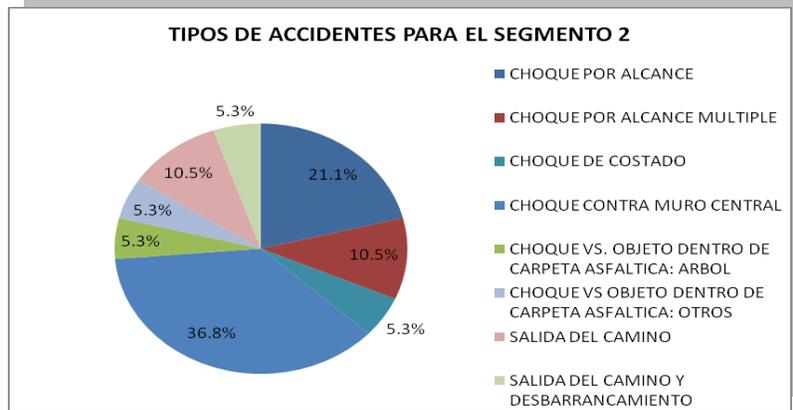
**Gráfica 3.11 Severidad de accidentes para el segmento 10.**

En la gráfica 3.12 podemos apreciar que para el Segmento 1 se presentan un mayor número de accidentes por choque contra muro central, lo que conlleva muchas ocasiones a que el vehículo se salga del camino y choque contra un objeto dentro de carpeta asfáltica. Además de acuerdo con la información de accidentes con que contamos, la mayor parte de los accidentes se presentan de día, y el automóvil resulta ser el vehículo mayormente involucrado en estos.



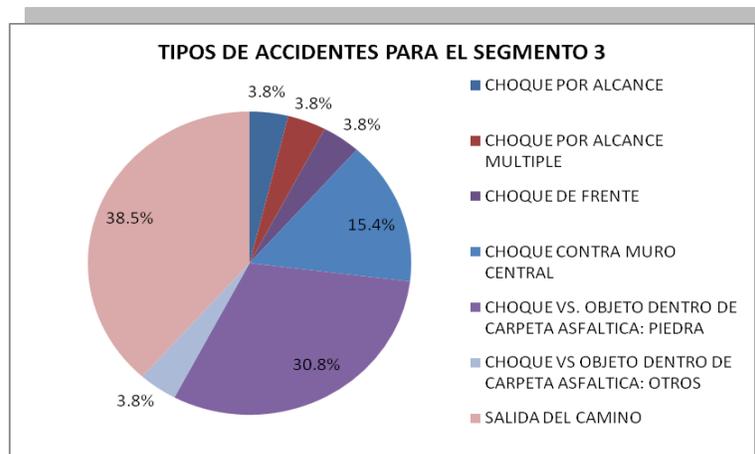
**Gráfica 3.12 Tipos de accidentes para el segmento 1.**

En la gráfica 3.13 podemos apreciar que para el Segmento 2, el choque contra muro central representa el tipo de accidente con más frecuencia; en la mayoría de este tipo, el vehículo se sale posteriormente del camino, o incluso puede llegar a volcar sobre la carpeta asfáltica. Además de acuerdo con la información de accidentes con que contamos, la mayor parte de los accidentes se presentan de día, y el automóvil resulta ser el vehículo mayormente involucrado en estos.



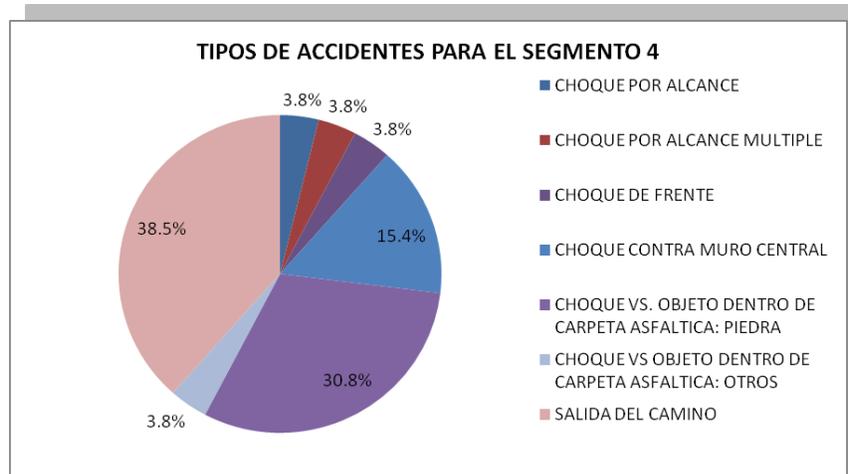
**Gráfica 3.13 Tipos de accidentes para el segmento 2.**

En la gráfica 3.14 podemos apreciar que para el Segmento 3, la salida del vehículo del camino, representa el tipo de accidente con mayor incidencia; y posteriormente de la salida, se puede producir una volcadura fuera de la carpeta asfáltica, o el choque del vehículo contra un objeto, en este caso el talud. Además, de acuerdo con la información de accidentes que existe, la mayor parte de los accidentes se presentan de día, y el automóvil resulta ser el vehículo mayormente involucrado en estos.



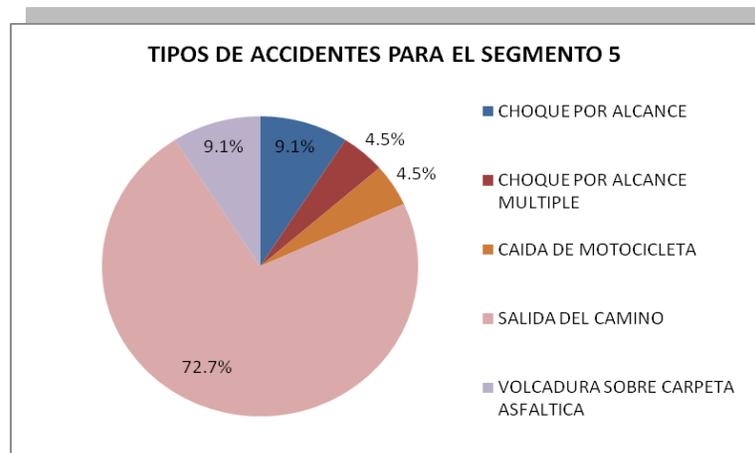
**Gráfica 3.14 Tipos de accidentes para el segmento 3.**

En la gráfica 3.15 apreciamos que para el Segmento 4, la salida del vehículo del camino representa el tipo de percance con mayor número de accidentes; y posteriormente de la salida, puede incluso producir una volcadura fuera de la carpeta asfáltica. Además, de acuerdo con la información de accidentes con que contamos, la mayor parte de los accidentes se presentan de día, y el automóvil resulta ser el vehículo mayormente involucrado en estos.



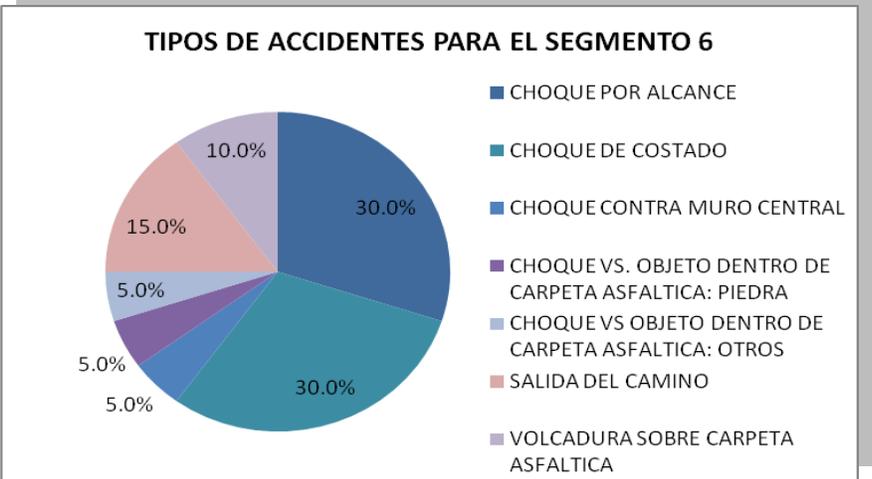
**Gráfica 3.15 Tipos de accidentes para el segmento 4.**

En la gráfica 3.16 podemos apreciar que para el Segmento 5, la salida del vehículo del camino representa el tipo de accidente con mayor frecuencia; además, posteriormente a la salida suceden volcaduras fuera de la carpeta asfáltica y/o bien choques contra el talud. También tenemos, de acuerdo con la información de accidentes que existe, que la mayor parte de los accidentes se presentan de día, y el automóvil resulta ser el vehículo mayormente involucrado en estos.



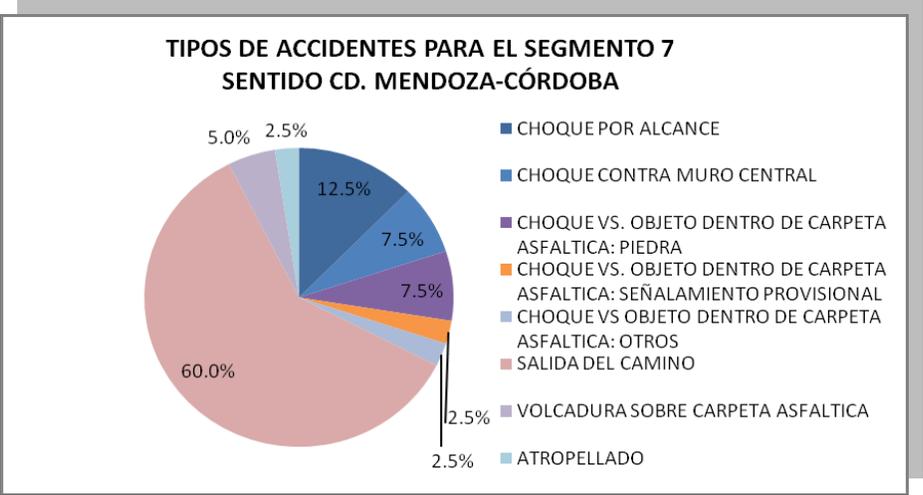
**Gráfica 3.16 Tipos de accidentes para el segmento 5.**

En la gráfica 3.17 vemos que para el Segmento 6, el choque por alcance y el de costado representan los tipos de accidentes con mayor incidencia. Además, de acuerdo con la información de accidentes con que contamos, la mayor parte de los accidentes se presenta en los meses de julio, noviembre y diciembre; y los vehículos ligeros resultan ser los mayormente involucrados en estos.



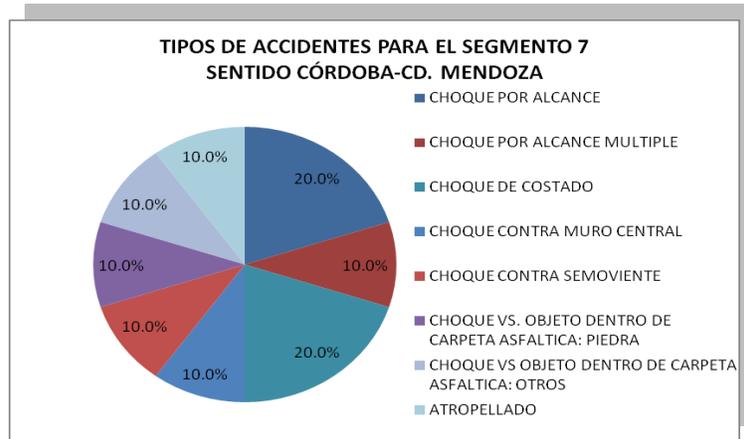
**Gráfica 3.17 Tipos de accidentes para el segmento 6.**

En la gráfica 3.18 apreciamos que para el Segmento 7, sentido Cd. Mendoza-Córdoba, la salida del vehículo del camino representa el tipo de siniestro con mayor número de accidentes, posteriormente a la salida del camino suele haber volcadura fuera de la carpeta asfáltica y/o choque contra el señalamiento. Además, de acuerdo con la información de percances existente, tenemos que la mayor parte de los accidentes se presenta en los meses de julio y diciembre; y los vehículos ligeros resultan ser los mayormente involucrados en estos, seguidos de tractocamiones de carga y los autotanques.



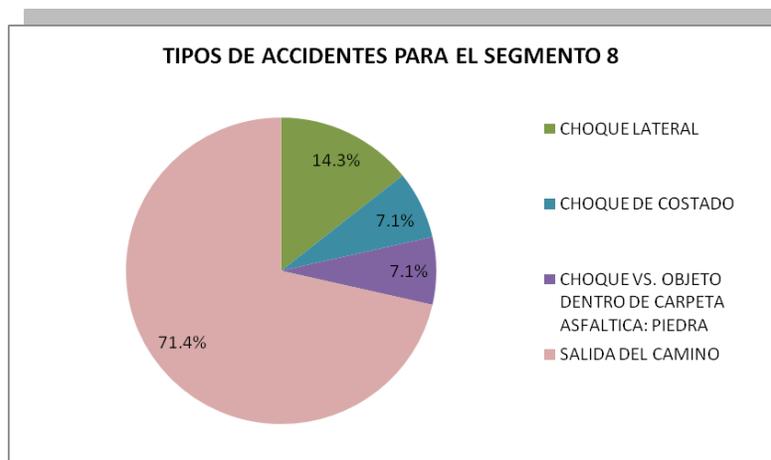
**Gráfica 3.18 Tipos de accidentes para el segmento 7, sentido Cd. Mendoza-Córdoba.**

En la gráfica 3.19 apreciamos que para el Segmento 7, sentido Córdoba-Cd. Mendoza, el choque por alcance y el de costado representan los tipos de accidentes con mayor incidencia. Además, de acuerdo con la información de accidentes a nuestro alcance, la mayor parte de los accidentes se presenta en los meses de marzo y julio; y los vehículos ligeros resultan ser los mayormente involucrados en estos, seguidos de tractocamiones de carga y los camiones unitarios.



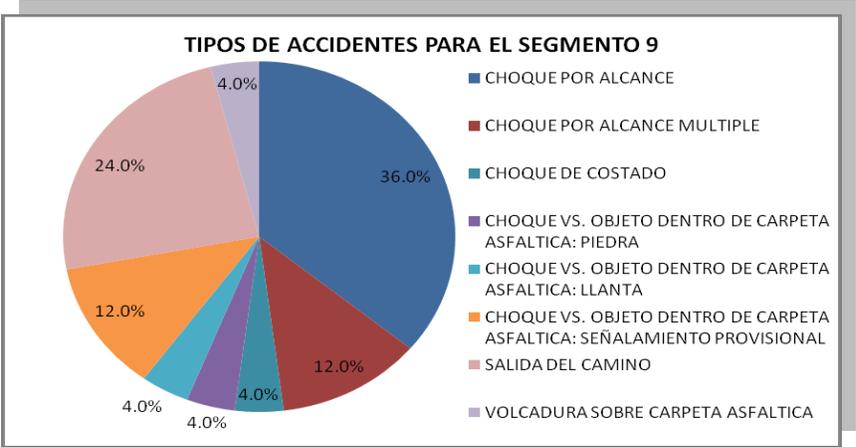
**Gráfica 3.19 Tipos de accidentes para el segmento 7, sentido Córdoba-Cd. Mendoza.**

En la gráfica 3.20 podemos apreciar que para el Segmento 8, la salida del vehículo del camino representa el tipo de percance con mayor número de accidentes; posteriormente a la salida del camino suele haber volcadura fuera de la carpeta asfáltica y/o choque contra las barreras metálicas. Además, de acuerdo con la información de accidentes con la que contamos, la mayor parte de los accidentes se presenta en los meses de junio y agosto; y los vehículos ligeros resultan ser los mayormente involucrados en estos, seguidos de tractocamiones de carga.



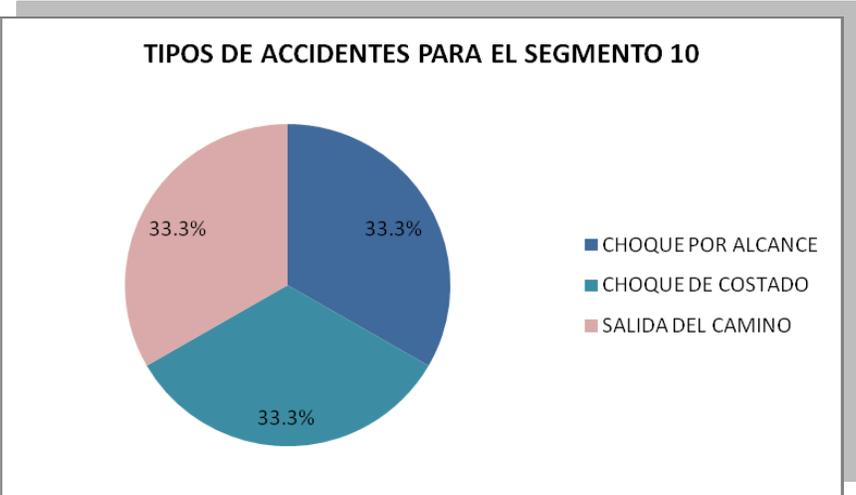
**Gráfica 3.20 Tipos de accidentes para el segmento 8.**

En la gráfica 3.21 apreciamos que para el Segmento 9, el choque por alcance representa el tipo de accidente con mayor frecuencia; lo que puede ocasionar, posteriormente al choque por alcance, la salida del vehículo del camino. Además, de acuerdo con la información de accidentes que tenemos, la mayor parte de los accidentes se presenta en los meses de enero, septiembre y noviembre; y los vehículos ligeros resultan ser los mayormente involucrados en estos, seguidos de tractocamiones de carga, camiones unitarios y autobuses.



**Gráfica 3.21 Tipos de accidentes para el segmento 9.**

En la gráfica 3.22 vemos que para el Segmento 10, el choque por alcance, de costado y la salida del vehículo del camino representan los tipos de accidentes con mayor número de accidentes. Es muy común que después del choque de costado en este segmento ocurra la salida del vehículo del camino. Además de acuerdo con la información de accidentes con que contamos, la mayor parte de los accidentes se presenta en los meses de junio, mayo y septiembre; y los vehículos ligeros resultan ser los mayormente involucrados en estos, seguidos de los camiones unitarios, los tractocamiones de carga y los autobuses.



**Gráfica 3.22 Tipos de accidentes para el segmento 10.**

Además, a partir del análisis de la información, pudimos observar que un factor en la ocurrencia de accidentes en todos los segmentos conflictivos es la presencia de lluvia, particularmente de noche. En varios de ellos (1, 4 y 5), la distancia de visibilidad es muy escasa para las velocidades desarrolladas por un porcentaje elevado de los usuarios; por lo que en estos casos es recomendable reforzar las medidas de control de las velocidades. En los segmentos 5, 6 y 9, la complejidad de las operaciones vehiculares y/o la magnitud de los flujos hacen recomendable proponer la instrumentación de distribuidores vehiculares como alternativas de mejoramiento.

### **3.2.2 Evaluación de la documentación de sustento, de las condiciones de campo y diagnóstico**

El objetivo de la documentación de sustento es obtener, a través de la revisión de documentos, perspectivas adicionales a las obtenidas con la revisión de los datos de accidentes, realizada en el paso anterior. Y con la evaluación de las condiciones de campo, pretendemos validar problemas de seguridad identificados con el paso (I) y (II). A continuación presentamos, para cada segmento su evaluación de acuerdo con el paso (II) y (III).

#### *Segmento 1*

Respecto a las características físicas y operativas del segmento, observamos lo siguiente:

- El segmento se ubica en curva horizontal derecha, con un grado de curvatura de 6°30' aproximadamente, para una velocidad de 70 km/h., pendiente vertical descendente, sección transversal en terraplén. Al final de la curva, se encuentra el acceso a Río Blanco y Nogales. En este acceso se localiza un puente. La longitud de entrecruzamiento del acceso es limitada, en parte debido a las restricciones laterales, ya que es una zona semiurbana; y por otra, al pasar esta zona comienza una pendiente ascendente hacia un paso superior vehicular. Cabe mencionar que en los límites del derecho de vía se encuentra una tubería de Petroleos Mexicanos (PEMEX). El ancho de carriles se encuentra ligeramente por debajo de las dimensiones reglamentarias; asimismo, las dimensiones de los acotamientos no son lo suficientemente amplias.
- El señalamiento horizontal en la zona de entrecruzamiento no es el adecuado para canalizar a los vehículos. Existen marcas de espaciamiento logarítmico previamente a la curva horizontal derecha, lo cual no respeta el espaciamiento adecuado. En cuanto al señalamiento horizontal, a pesar de contar con rayas separadoras de carriles y acotamientos, estas se encuentran despintadas por falta de mantenimiento (por el paso de vehículos, algunas rayas se encuentran borradas).
- En cuanto al señalamiento vertical, la falta de "chevrones" en la curva del segmento, así como la falta de señales que indiquen la aproximación a una zona semiurbana y

de entrecruzamiento de tránsito, son factores que propician la ocurrencia de accidentes.

- Es importante que el señalamiento vertical ayude a delinear el trazo de la curva, a base de “chevrone” colocados sobre el acotamiento interno; los cuales auxiliarán al conductor al momento de circular por la curva.
- Cabe señalar que los dispositivos de contención (barrera metálica semirrígida de doble cresta) no contienen los elementos necesarios para desempeñarse como barrera semirrígida; debido a que está fijada en postes de concreto; los que -al ser rígidos, en combinación con la barrera- no absorben la energía cuando son impactados por un vehículo, energía que es transmitida a los vehículos y sus ocupantes; por ello es recomendable cambiar esta barrera a un sistema semirrígido con postes de metal a la altura necesaria.
- Los módulos de la barrera central de concreto se encuentran impactados y en algunos casos discontinuos, especialmente en la zona de entrecruzamiento; como se aprecia en la figura 3.1.



**Figura 3.1 Barrera central de concreto discontinua en el segmento 1.**

- La superficie de rodamiento se encuentra en condiciones aceptables.
- La velocidad de operación observada en la tangente previa al segmento fue de 85 km/h, que aumenta a 97 km/h al momento de circular por la curva, al salir de la curva y entrar a la zona de entrecruzamiento se reduce a 77 km/h. Cabe mencionar que el máximo diferencial de velocidad es de 20 km/h (de 97 km/h a 77 km/h), lo que implica cambios abruptos.

- Se presenta un porcentaje considerable de vehículos que superan las velocidades máximas que permite la visibilidad (70 km/h en automóviles y de 50 km/h en camiones de carga); la cual es limitada en algunos lugares de este sitio.

### Segmento 2

Respecto a las características físicas y operativas del segmento observamos lo siguiente:

- El sitio se ubica en curva horizontal izquierda con un grado de curvatura de  $5^{\circ}00'$  aproximadamente, para una velocidad de 60 km/h. pendiente vertical ascendente, sección transversal en terraplén. Previo a esta curva, se localiza un puente de aproximadamente 40 m de longitud. El ancho de carriles se encuentra ligeramente por debajo de las dimensiones reglamentarias; asimismo, las dimensiones de los acotamientos no son lo suficientemente amplias. El puente previo a la curva no cuenta con acotamiento externo, por lo que la sección transversal se reduce a lo largo de esta estructura (veáse Figura 3.2).



**Figura 3.2 Reducción de la sección transversal en el puente en el segmento 2.**

- En relación con el señalamiento horizontal en el sitio, se encuentran marcas con espaciamiento logarítmico previo a la curva horizontal; el cual no cumple con el espaciamiento adecuado. En general, el señalamiento horizontal -consistente en rayas separadoras de carriles, acotamientos y vialetas- cuenta con buena luminosidad.

- El señalamiento vertical cuenta con señales fuera de reglamento en cuanto a color de fondo de tablero y letras (tablero azul y letras blancas) en la zona previa a la curva. Asimismo, el señalamiento no advierte la presencia de camino sinuoso en los próximos kilómetros. En cuanto a reflexión de luz, esta parece ser adecuada.
- Cabe señalar que los dispositivos de contención (barrera metálica semirrígida de doble cresta) no contienen los elementos necesarios para desempeñarse como barrera semirrígida, debido a que la barrera está fijada a postes de concreto, los que, al ser rígidos, en combinación con la barrera, no absorben la energía cuando son impactados por un vehículo; dicha energía es transmitida a los vehículos y sus ocupantes; por ello, es recomendable cambiar esta barrera a un sistema semirrígido con postes de metal a la altura necesaria.
- Los módulos de la barrera central de concreto se encuentra impactados y en algunos casos sin la continuidad necesaria.
- La superficie de rodamiento se encuentra en condiciones aceptables.
- Esta curva carece de alguna rejilla interceptora de escurrimientos provenientes de la calzada del cuerpo "A", en la zona de la barrera central; por lo que dichos escurrimientos cruzan hacia el cuerpo "B" provocando problemas en los vehículos que circulan por ese cuerpo en el lugar de la curva.
- La velocidad de operación observada en la tangente previa al segmento fue de 96 km/h, la que aumenta al momento de circular por la curva a 99 km/h, y se reduce a 87 km/h al salir de la curva. En este segmento el máximo diferencial de velocidad fue de 12 km/h (de 99 km/h a 87).

### *Segmento 3*

Respecto a las características físicas y operativas del segmento, observamos lo siguiente:

- El segmento se ubica en curva horizontal izquierda con un grado de curvatura de 5°00' aproximadamente, con una velocidad de proyecto de 60 km/h. pendiente vertical ascendente, sección transversal en corte. Previo a esta curva, se localiza una curva horizontal izquierda que corresponde al sitio 2. El ancho de carriles se encuentra ligeramente por debajo de las dimensiones reglamentarias; asimismo, las dimensiones de los acotamientos no son lo suficientemente amplias, lo que proporciona al conductor una sensación de estrechez, además de contar con un corte muy alto del lado del acotamiento externo.
- En este segmento existen problemas de caídos provenientes del talud de corte, esto puede ser debido a inestabilidad del mismo talud (véase figura 3.3).



**Figura 3.3 Talud de corte en el segmento 3.**

- El señalamiento horizontal en el segmento cuenta con rayas separadoras de carriles y acotamientos que se encuentran en buen estado, así como sus vialetas. Cabe señalar que en este segmento no hay colocadas rayas con espaciamiento logarítmico.
- El señalamiento vertical cuenta con una señal que advierte de la presencia de una curva peligrosa ubicada metros más adelante, la cual se trata en el segmento 4. Cuenta con una señal de auxilio turístico (Save Our Souls –SOS-). La luminosidad de las señales parece ser adecuada.
- Algunos módulos de la barrera central de concreto, en este segmento, se encuentran impactados; por lo que presentan daños en su estructura .
- La superficie de rodamiento se encuentra en condiciones aceptables.
- La velocidad de operación observada en la tangente previa al segmento fue de 87 km/h, sigue constante durante el desarrollo de la curva y salir de esta mantienen una velocidad de 88 km/h. La velocidad de los vehículos en este segmento es constante, tanto previa como posteriormente del sitio.

#### *Segmento 4*

Respecto a las características físicas y operativas del segmento, observamos lo siguiente:

- El segmento se ubica en curva horizontal derecha con un grado de curvatura de 6°00' aproximadamente, con una velocidad de proyecto de 60 km/h. pendiente vertical descendente, una parte de la sección transversal es en corte y posteriormente en balcón. El ancho de carriles se encuentra ligeramente por debajo de las dimensiones reglamentarias; asimismo, las dimensiones de los acotamientos no son lo suficientemente amplias.
- El segmento cuenta con sus respectivas obras de drenaje (cunetas y alcantarillas), pero una de esas alcantarillas no cuenta con protección alguna para evitar que los vehículos caigan en ella.
- Cabe señalar que en los límites del derecho de vía del cuerpo "A" se encuentran alojados ductos de PEMEX, los cuales cruzan por debajo de la autopista aproximadamente en el km 265+525 hacia el cuerpo "B" (véase figura 3.4).



**Figura 3.4 Ductos de PEMEX que cruzan la autopista por debajo.**

- En el señalamiento horizontal en el segmento, existen marcas con espaciamiento logarítmico previo a la curva horizontal que no cumplen con el espaciamiento adecuado, además de que se encuentran despintadas. No obstante el señalamiento horizontal de rayas separadoras de carriles, los acotamientos y las vialetas cuentan con buena luminosidad.
- El señalamiento vertical es escaso, solo advierte de la peligrosidad de la curva aproximadamente 300 m antes de llegar a ella. Cuenta con algunos "chevrones" colocados sobre la barrera central, pero estos no son los suficientes ya que la barrera sobre la cual están colocadas está discontinua.

- En cuanto a los dispositivos de contención, la barrera central de concreto que divide los cuerpos se encuentra en mal estado (impactada) y no es continua en varios segmentos; y precisamente en uno de esos segmentos, fue colocada una barrera triple onda con terminación “cola de pato” que resulta peligrosa a los vehículos que la impacten la barrera en esa parte. El mal estado de la barrera central de concreto puede apreciarse en la figura 3.5.



**Figura 3.5 Disposición y discontinuidad de las barreras centrales en el segmento 4.**

- La alcantarilla del km 265+525 está protegida con una barrera metálica doble onda; sin embargo, las terminales de dicha barrera no son las adecuadas y puede ser peligroso para un algún vehículo que llegue a impactarla.
- La superficie de rodamiento se encuentra en condiciones aceptables, solo algunas pequeñas deformaciones longitudinales en el carril derecho.
- La velocidad de operación observada en la tangente previa al segmento fue de 83 km/h, la que aumenta al momento de circular por la curva a 88 km/h, y se reduce a 86 km/h al salir de la curva; es decir, la velocidad se mantiene constante a lo largo de la curva, por lo que no existen grandes diferenciales de velocidad.
- La visibilidad en este segmento es muy reducida, no es la adecuada para las velocidades de operación observadas.

### Segmento 5

Respecto a las características físicas y operativas del segmento, observamos lo siguiente:

- El segmento se ubica en curva horizontal derecha con un grado de curvatura de  $6^{\circ}00'$  aproximadamente, con una velocidad de proyecto de 60 km/h. pendiente vertical descendente, la sección transversal es en corte. El ancho de carriles se encuentra ligeramente por debajo de las dimensiones reglamentarias, asimismo las dimensiones de los acotamientos no son lo suficientemente amplias; lo que provoca al conductor una sensación de estrechez, además de contar con un corte bastante alto sobre el lado derecho.
- En este segmento se separan los cuerpos "A" y "B", para dar lugar a un campamento de CAPUFE, así como un destacamento de la Policía Federal Preventiva (PFP). En este lugar se localiza un pequeño retorno usado por los vehículos procedentes del cuerpo "B", así como una gasa de salida que pasa por la parte inferior de un PSV con destino a Orizaba. Cabe señalar que además de presentarse accidentes en la curva derecha, en este lugar también se dan por el entrecruzamiento de los vehículos que provienen del retorno, aquellos que toman la gasa de salida y los automotores de largo itinerario del cuerpo "A" (véase figura 3.6).



**Figura 3.6 Entrecruzamiento de vehículos en el segmento 5.**

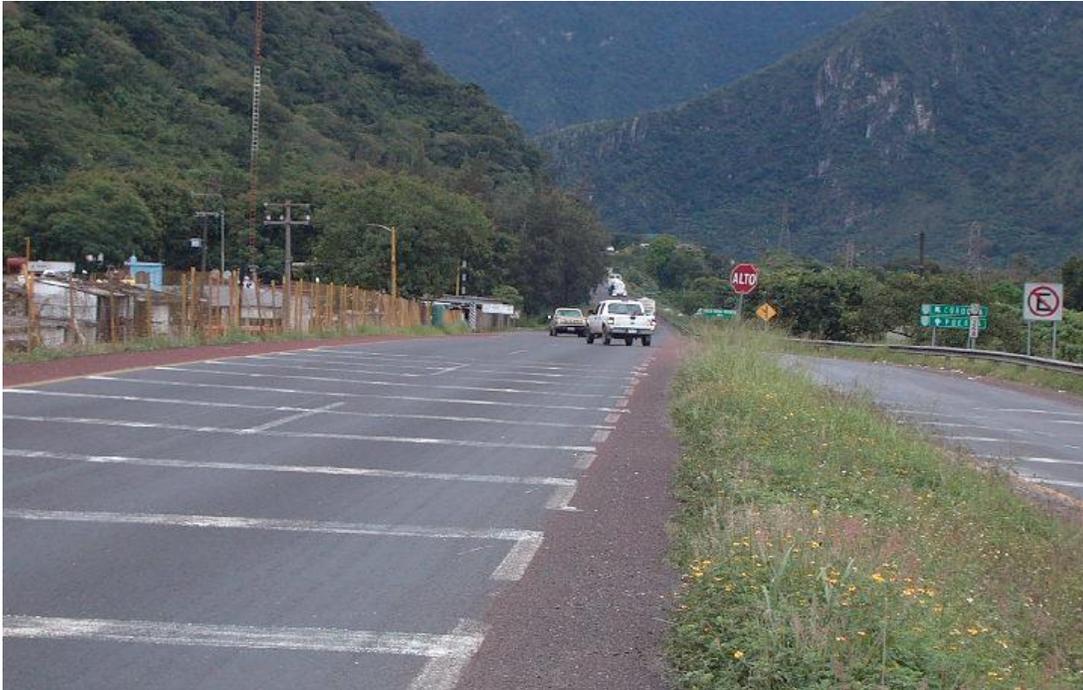
- En el señalamiento horizontal en el segmento, se encuentran marcas con espaciamiento logarítmico previo a la curva horizontal; el cual no cumple con el espaciamiento adecuado, además de que se encuentra despintado.

- El señalamiento vertical advierte de la presencia de cruce de vehículos en el entrecruzamiento, así como “chevrone” sobre la barrera central. Existe una señal con fondo rojo y letras blancas que advierte la presencia de un reductor de velocidad; dicha señal, por sus colores no cumple con lo que marca el manual de dispositivos y control de tránsito de la SCT. No obstante, hay una señal que indica que el pavimento es resbaloso, colocada antes de tomar la curva derecha.
- La velocidad de operación observada en la tangente previa al segmento fue de 90 km/h; al momento de circular por el centro de la curva, la velocidad es de 88 km/h, y al salir de esta, los vehículos reducen su velocidad a 77 km/h. Esta reducción de velocidad es por la siguiente curva izquierda y entrecruzamiento de vehículos.
- La visibilidad en este sitio es muy reducida, tanto para la curva así como la zona de entrecruzamiento, la visibilidad resulta escasa para las velocidades con que los vehículos van circulando.

### *Segmento 6*

Respecto a las características físicas y operativas del segmento, observamos lo siguiente:

- El segmento se encuentra ubicado en un tramo en recta con pendiente vertical ascendente. La sección transversal es en terraplén en donde los anchos de carril y los acotamientos están por debajo de las dimensiones reglamentarias, 3.1 m en el carril derecho o de baja velocidad.
- En relación con la operación, en este segmento coinciden -en un tramo muy corto un paso superior vertical- la incorporación del camino que viene de Orizaba, que carece de carril de aceleración; un retorno con dirección a Córdoba, con un carril de deceleración inadecuado y una sección transversal deficiente; y los campamentos de CAPUFE y la PFP; en donde existe un constante flujo de vehículos que ejecutan maniobras a baja velocidad.
- El señalamiento horizontal se encuentra en malas condiciones debido a la falta de mantenimiento y a que presenta baja luminosidad y retrorreflexión, tanto en las rayas separadoras de carriles, acotamientos y rayas logarítmicas (véase figura 3.7). Estas últimas tienen una mala separación entre ellas, lo que produce un efecto diferente para el que fueron diseñadas. Algunas rayas separadoras de carriles y de acotamientos carecen de vialetas.
- Los elementos de contención se encuentran en malas condiciones y no son los adecuados.



**Figura 3.7 Señalamiento horizontal en malas condiciones en el segmento 6.**

- El señalamiento vertical -en general- se encuentra en buenas condiciones, en relación con su luminosidad y retrorreflectancia, aunque carece de algunos señalamientos preventivos y restrictivos que se requiere por la complejidad del segmento.
- La superficie de rodamiento se encuentra en condiciones aceptables; sin embargo, no tiene un buen desempeño bajo condiciones de lluvia o pavimento mojado.
- Su velocidad de proyecto es de 60 km/h. De las velocidades de operación observadas; constatamos que a la entrada del segmento, la velocidad de operación es de 93 km/h y la velocidad media de 81 km/h. A la salida del sitio, la velocidad de operación es de 53 km/h y la velocidad media de 46 km/h.

*Segmento 7, Sentidos Cd. Mendoza-Córdoba y Córdoba-Cd. Mendoza*

Respecto a las características físicas y operativas del segmento, observamos lo siguiente:

- Este segmento se encuentra ubicado en un tramo en recta con pendiente vertical descendente en el cuerpo "A", con dirección hacia a Córdoba y con pendiente ascendente en el cuerpo "B", con dirección a Puebla. La sección transversal, en ambos cuerpos, es en terraplén en donde los anchos de carril y los acotamientos son los adecuados, excepto el carril derecho y el acotamiento externo de un tramo del cuerpo "A" que tiene 3.4 m y 1.3 m respectivamente.

- En relación con la operación, en ambos cuerpos del segmento se encuentran ubicadas áreas de comercio y de servicio que conforman un paradero informal, los principales usuarios son los operadores de camiones de carga. Pudimos observar que estos vehículos se estacionan en doble fila sobre el acotamiento, además hay un continuo paso de peatones que cruzan la vía. No observamos ningún elemento de contención que protegiera a los vehículos estacionados en los paraderos y el flujo normal de la vía, así como ningún puente peatonal o barrera que proteja el paso de peatones.
- El señalamiento horizontal se encuentra en malas condiciones debido a la falta de mantenimiento, ya que presenta baja luminosidad y retrorreflexión, tanto en las rayas separadoras de carriles, acotamientos y rayas logarítmicas. Estas últimas tienen una mala separación entre ellas, lo que produce un efecto diferente para el que fueron diseñadas. Tanto las rayas separadoras de carriles como las de acotamientos carecen de vialetas. La figura 3.8 muestra el estacionamiento irregular de camiones de carga en el sitio.



**Figura 3.8 Estacionamiento irregular de camiones de carga en el segmento 7.**

- El señalamiento vertical en general se encuentra en buenas condiciones, en relación con su luminosidad y retrorreflectancia aunque carece de algunos señalamientos preventivos y restrictivos que informen a los conductores de la presencia del paradero y de los servicios, así como restringir el estacionamiento en los acotamientos.
- Los elementos de contención se encuentran en malas condiciones y no son los adecuados.

- La superficie de rodamiento se encuentra en condiciones aceptables; sin embargo no tiene un buen desempeño bajo condiciones de lluvia o pavimento mojado.
- Su velocidad de proyecto es de 60 km/h, en ambos sentidos. De las velocidades de operación observadas, obtuvimos, para el cuerpo "A", que la velocidad de operación es de 96 km/h y la velocidad media de 85 km/h. Para el cuerpo "B", la velocidad de operación es de 95 km/h y la velocidad media de 81 km/h.

### Segmento 8

Respecto a las características físicas y operativas del segmento, observamos lo siguiente:

- Este segmento se encuentra ubicado primeramente por un tramo en recta, donde se ubica una salida direccional hacia Jalapilla y cuenta con una transición para canalizar a los vehículos, seguido de una curva izquierda de  $4^{\circ}10'$  de grado de curvatura seguido por otro tramo en recta. El final de la curva (o inicio de la segunda recta) coincide exactamente con un paso superior vehicular, el estribo de este queda sobre la trayectoria del primer tramo en la recta.
- El segmento se encuentra sobre una pendiente vertical descendente. La sección transversal es en terraplén en donde los anchos de carril y los acotamientos se consideran adecuados, aunque el carril derecho se reduce a 3.4 m sobre la curva.
- En relación con la operación, observamos que los vehículos de largo itinerario no disminuyen su velocidad a la entrada a la curva, a pesar de la existencia de las rayas logarítmicas. La combinación de la curva y el estribo del paso superior representan un riesgo para los conductores que van a exceso de velocidad, sobre todo si los elementos de contención no son los adecuados (véase figura 3.9).



**Figura 3.9 La trayectoria en línea recta de los vehículos se proyecta hacia el estribo derecho del puente en el segmento 8.**

- El señalamiento horizontal se encuentra en malas condiciones debido a la falta de mantenimiento; ya que presenta baja luminosidad y retrorreflexión, en las rayas separadoras de carriles, acotamientos y rayas logarítmicas. Estas últimas tienen una mala separación entre ellas, lo que produce un efecto diferente para el que fueron diseñadas. Algunas rayas separadoras de carriles y de acotamientos carecen de vialetas.
- El señalamiento vertical se encuentra en buenas condiciones en relación con su luminosidad y retrorreflectancia; aunque carece de algunos señalamientos preventivos, como los indicadores de curva peligrosa “chevrones” así como marcas en las estructuras, que el estribo del paso superior vehicular no tiene.
- Los elementos de contención se encuentran en malas condiciones, no son los adecuados, no hay continuidad entre ellos y no existen transiciones de un sistema semirrígido a un rígido o viceversa.
- La superficie de rodamiento se encuentra en condiciones aceptables; sin embargo, no tiene un buen desempeño bajo condiciones de lluvia o pavimento mojado.
- Su velocidad de proyecto es de 80 km/h. De las velocidades de operación observadas, obtuvimos que a la entrada de la curva la velocidad de operación es de 106 km/h y la velocidad media de 92 km/h; durante la curva, la velocidad de operación es de 104 km/h y la velocidad media de 91 km/h; a la salida, la velocidad de operación es de 101 km/h y la velocidad media de 94 km/h.

### Segmento 9

Respecto a las características físicas y operativas del segmento, observamos lo siguiente:

- El segmento se encuentra ubicado en un tramo en recta con pendiente vertical descendente seguido por una curva izquierda con un grado de curvatura de  $2^{\circ} 06'$  que continúa con otra recta. Entre la primera recta y el inicio de la curva se encuentra la incorporación que viene de Córdoba y justamente al término de la curva se localiza la salida con dirección a Córdoba y al poblado La Luz, en seguida de la segunda recta se ubica la incorporación que viene de La Luz. Entre la incorporación que viene de Córdoba y la salida, se encuentra un paso superior vehicular en una distancia de 120 m para el entrecruzamiento. La sección transversal es en terraplén en donde los anchos de carril y los acotamientos están por debajo de las dimensiones reglamentarias, presentan hasta 3.15 m en el carril izquierdo.
- En relación con la operación, observamos que el segmento funciona como una clase de distribuidor vial en la que en la zona de entrecruzamiento se hacen colas para tomar la salida hacia Córdoba (véase figura 3.10). Los vehículos de largo itinerario no disminuyen su velocidad a la entrada a la curva, a pesar de la

existencia de las rayas logarítmicas. La combinación del estribo del paso superior y la curva representan un riesgo para los conductores que van a exceso de velocidad, sobre todo si los elementos de contención no son los adecuados.



**Figura 3.10 Entrecruzamiento entre los vehículos que toman el ramal de salida hacia Córdoba y los que se incorporan a la autopista por el ramal de entrada.**

- El señalamiento horizontal se encuentra en malas condiciones, debido a la falta de mantenimiento; ya que presenta baja luminosidad y retrorreflexión, ten las rayas separadoras de carriles, acotamientos y rayas logarítmicas. Estas últimas tienen una mala separación entre ellas, lo que produce un efecto diferente para el que fueron diseñadas. Algunas rayas separadoras de carriles y de acotamientos carecen de vialitas.
- El señalamiento vertical se encuentra en buenas condiciones, en relación con su luminosidad y retrorreflectancia aunque carece de algunos señalamientos preventivos, como los indicadores de curva peligrosa, “chevrones”, así como marcas en las estructuras; en el caso del estribo del paso superior vehicular no existen.
- Los elementos de contención se encuentran en malas condiciones, no son los adecuados; no hay continuidad entre ellos y no existen transiciones de un sistema semirígido a un rígido o viceversa.
- La superficie de rodamiento se encuentra en condiciones aceptables; sin embargo, no tiene un buen desempeño bajo condiciones de lluvia o pavimento mojado.
- Su velocidad de proyecto es de 90 km/h. De las velocidades de operación observadas, obtuvimos que a la entrada de la curva la velocidad de operación es de

109 km/h y la velocidad media de 96 km/h, durante la curva la velocidad de operación es de 95 km/h y la velocidad media de 78 km/h; a la salida, la velocidad de operación es de 98 km/h y la velocidad media de 86 km/h.

### *Segmento 10*

Respecto a las características físicas y operativas del segmento, observamos lo siguiente:

- El segmento se encuentra ubicado en un tramo en recta con pendiente vertical ascendente. En el segmento se ubica primeramente una salida con dirección a Amatlán, seguida de una incorporación que proviene del mismo lugar con destino a Orizaba, inmediatamente después existe un paso superior del ferrocarril. Entre la salida y la incorporación se ubica un paso superior vehicular. La sección transversal es en terraplén, en donde los anchos de carril son adecuados, no así los anchos del acotamiento externo que están por debajo de las dimensiones reglamentarias.
- En relación con la operación, los vehículos que provienen de Amatlán se incorporan a la autopista con un ángulo tal que tienen una mínima visibilidad para poder ingresar con seguridad, aunado al problema de la vegetación espesa y sin un carril de aceleración que permita la adecuada incorporación. Este problema hace que los vehículos se incorporen a la autopista a bajas velocidades (véase figura 3.11).
- El señalamiento horizontal es malo, ya que ni siquiera existe la raya de los acotamientos. La raya separadora de carriles se encuentra en malas condiciones, debido a la falta de mantenimiento; ya que presenta baja luminosidad y retrorreflexión. Tanto las rayas separadoras de carriles como las de acotamientos carecen de vialetas.
- El señalamiento vertical en general se encuentra en buenas condiciones, en relación con su luminosidad y retrorreflectancia aunque carece de algunos señalamientos preventivos.
- La superficie de rodadura se encuentra en condiciones aceptables; sin embargo no tiene un buen desempeño bajo condiciones de lluvia o pavimento mojado.
- Su velocidad de proyecto es de 80 km/h. De las velocidades de operación observadas en el sitio, obtuvimos que la velocidad de operación es de 103 km/h y la velocidad media de 89 km/h.



**Figura 3.11 Condiciones deficientes de la incorporación a la autopista en el segmento 10.**

## **4 Alternativas de mejoramiento para los segmentos**

---

En este capítulo, presentamos la selección de alternativas de mejoramiento para los diez segmentos que fueron seleccionados de acuerdo con su nivel de alta peligrosidad, a través de las cuales pretendemos reducir la frecuencia y/o severidad de los accidentes.

La selección de contramedidas para cada segmento incluye los siguientes dos pasos principales: (I) identificar los factores de la vía que contribuyen a la causa de los accidentes en cada segmento y (II) Identificar las alternativas de mejoramiento que pueden hacer frente a los factores de contribución. A continuación describimos lo realizado, para el tramo de interés, en relación con cada uno de los pasos anteriores.

### **4.1 Factores de la vía que contribuyen a la causa de los accidentes**

Para el segmento 1, los posibles factores de contribución de la vía de acuerdo con el tipo de accidente a lo largo de este son:

Choque por alcance:

- Inapropiadas velocidades de aproximación.
- Carriles estrechos.
- Exceso de velocidad.

Choque contra muro central:

- Carriles estrechos.
- Exceso de velocidad.

Choque contra objeto dentro de carpeta asfáltica: otros

- Exceso de velocidad.

Salida del camino:

- Inadecuado ancho de carril.
- Pobre delineación.
- Pobre distancia de visibilidad.

- Exceso de velocidad.

Para el segmento 2, los posibles factores de contribución de la vía de acuerdo con el tipo de accidente a lo largo de este son:

Choque por alcance y por alcance múltiple:

- Inapropiadas velocidades de aproximación.
- Carriles estrechos.
- Exceso de velocidad.

Choque de costado y contra muro central:

- Carriles estrechos.
- Exceso de velocidad.

Choque contra objeto dentro de carpeta asfáltica: árbol y otros

- Exceso de velocidad.
- Inadecuado mantenimiento

Salida del camino:

- Inadecuado ancho de carril.
- Exceso de velocidad.

Para el segmento 3, los posibles factores de contribución de la vía de acuerdo con el tipo de accidente a lo largo de este son:

Choque por alcance, por alcance múltiple y contra muro central:

- Inapropiadas velocidades de aproximación.
- Carriles estrechos.
- Exceso de velocidad.

Choque contra objeto dentro de carpeta asfáltica: piedra y otros

- Inadecuado mantenimiento.
- Exceso de velocidad.

Salida del camino:

- Inadecuado ancho de carril.
- Inadecuado mantenimiento.
- Exceso de velocidad.

Para el segmento 4, los posibles factores de contribución de la vía de acuerdo con el tipo de accidente a lo largo de este son:

Choque por alcance, por alcance múltiple y contra muro central:

- Inapropiadas velocidades de aproximación.
- Carriles estrechos.
- Exceso de velocidad.

Choque contra objeto dentro de carpeta asfáltica: piedra y otros

- Inadecuado mantenimiento.
- Exceso de velocidad.

Salida del camino:

- Inadecuado ancho de carril.
- Inadecuado mantenimiento.
- Exceso de velocidad.
- Pobre distancia de visibilidad.

Para el segmento 5, los posibles factores de contribución de la vía de acuerdo con el tipo de accidente a lo largo de este son:

Choque por alcance y por alcance múltiple:

- Inapropiadas velocidades de aproximación.
- Carriles estrechos.
- Exceso de velocidad.
- Pavimento resbaloso en presencia de lluvia.

Caída de motocicleta y volcadura sobre carpeta asfáltica:

- Exceso de velocidad.
- Pavimento resbaloso en presencia de lluvia.

Salida del camino:

- Inadecuado ancho de carril.
- Exceso de velocidad.
- Pobre distancia de visibilidad.

Para el segmento 6, los posibles factores de contribución de la vía de acuerdo con el tipo de accidente a lo largo de este son:

Choque por alcance, choque de costado y contra muro central:

- Inapropiadas velocidades de aproximación.
- Carriles estrechos.
- Exceso de velocidad.
- Pavimento resbaloso en presencia de lluvia.

Choque contra objeto dentro de carpeta asfáltica: piedra y otros

- Pavimento resbaloso en presencia de lluvia.
- Exceso de velocidad.

Salida del camino:

- Inadecuado ancho de carril.
- Pavimento resbaloso en presencia de lluvia.
- Pobre delineación.
- Exceso de velocidad.

Volcadura sobre carpeta asfáltica:

- Exceso de velocidad.
- Pavimento resbaloso en presencia de lluvia.

Para el segmento 7, los posibles factores de contribución de la vía de acuerdo con el tipo de accidente a lo largo del segmento son:

Choque por alcance, por alcance múltiple, choque de costado y contra muro central:

- Inapropiadas velocidades de aproximación.
- Carriles estrechos.
- Exceso de velocidad.
- Pavimento resbaloso en presencia de lluvia.

Choque contra semoviente:

- Falta de barrera entre semoviente e infraestructura carretera.
- Exceso de velocidad.
- Semoviente sobre la carretera.

Choque VS objeto dentro de carpeta asfáltica: piedra, señalamiento provisional y otros

- Pavimento resbaloso en presencia de lluvia.
- Exceso de velocidad.

Atropellado:

- Falta de barrera entre peatón e infraestructura carretera.
- Exceso de velocidad.
- Peatón sobre la carretera.
- Paradero de camiones que da lugar a cruce informal de peatones.

Volcadura sobre carpeta asfáltica:

- Exceso de velocidad.
- Pavimento resbaloso en presencia de lluvia.

Salida del camino:

- Inadecuado ancho de carril.
- Pavimento resbaloso en presencia de lluvia.
- Exceso de velocidad.

Para el segmento 8, los posibles factores de contribución de la vía de acuerdo con el tipo de accidente a lo largo de este son:

Choque lateral y choque contra objeto dentro de carpeta asfáltica: piedra.

- Exceso de velocidad.
- Pavimento resbaloso en presencia de lluvia.

Choque de costado:

- Inapropiadas velocidades de aproximación.
- Exceso de velocidad.
- Pavimento resbaloso en presencia de lluvia.

Salida del camino:

- Pavimento resbaloso en presencia de lluvia.
- Pobre delineación.
- Exceso de velocidad.

Para el segmento 9, los posibles factores de contribución de la vía de acuerdo con el tipo de accidente a lo largo de este son:

Choque por alcance, por alcance múltiple y choque de costado:

- Inapropiadas velocidades de aproximación.
- Carriles estrechos.
- Exceso de velocidad.

- Pavimento resbaloso en presencia de lluvia.

Choque contra objeto dentro de carpeta asfáltica: piedra, llanta, señalamiento provisional.

- Pavimento resbaloso en presencia de lluvia.
- Exceso de velocidad.

Salida del camino:

- Inadecuado ancho de carril.
- Pavimento resbaloso en presencia de lluvia.
- Pobre delineación.
- Exceso de velocidad.

Volcadura sobre carpeta asfáltica:

- Exceso de velocidad.
- Pavimento resbaloso en presencia de lluvia.
- Inadecuado ancho de hombros.

Para el segmento 10, los posibles factores de contribución de la vía de acuerdo con el tipo de accidente a lo largo de este son:

Choque por alcance y de costado:

- Inapropiadas velocidades de aproximación.
- Acotamientos estrechos.
- Exceso de velocidad.
- Pavimento resbaloso en presencia de lluvia.
- Pobre visibilidad de las señales por falta de mantenimiento.

Salida del camino:

- Pavimento resbaloso en presencia de lluvia.
- Inadecuado ancho de hombros
- Pobre delineación.
- Exceso de velocidad.

## **4.2 Alternativas de mejoramiento**

Una vez identificados, a través del diagnóstico y de los factores de la vía que contribuyen a la causa de los accidentes, todos los elementos de la autopista que impactan en la seguridad y en la eficiente operación de los vehículos y de las personas; proponemos en esta sección una serie de alternativas de mejoramiento para que el tramo pueda aumentar sus niveles de seguridad.

Recomendamos, para todos los segmentos, contar con un programa de mantenimiento periódico tanto de pintura (rayas delimitadoras de carriles, acotamientos, estructuras, rayas logarítmicas, etc.), como de deshierbe y podado de árboles, para evitar que estos obstruyan la visibilidad de señalamientos y accesos a la tramo.

Todos los dispositivos empleados en el proyecto de señalamiento cumplirán con las especificaciones de la Normativa para la Infraestructura del Transporte, en la parte del Proyecto de Señalamiento y Dispositivos de Seguridad en Calles y Carreteras de la SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1986), asimismo los dispositivos de contención estarán diseñados y colocados para soportar por lo menos un nivel de prueba TL3 según el Reporte 350 de la NCHRP (National Cooperative Highway Research Program, 1993).

A continuación, presentamos las alternativas de mejoramiento particular para cada uno de los diez segmentos, que ya fueron determinados de acuerdo con su nivel de alta peligrosidad.

### *Segmento 1*

Para este segmento proponemos una sola alternativa de mejoramiento, constituida por las medidas específicas que mencionamos enseguida.

#### *Alternativa 1*

Respecto al señalamiento horizontal se requiere:

- Colocar rayas transversales con espaciamiento logarítmico (M-9) a lo ancho de toda la calzada iniciando en el km 263+068 y complementarlas con botones de aluminio tipo tachuela de 10 cm de diámetro (DH-3) dispuestos en tresbolillo, fabricado con aluminio tipo 380 con cuatro venas de refuerzo en una sola pieza, cuerpo color natural y resistente al rayado, base en forma circular de 100 mm y una altura de 20 mm, colocación por medio de pegamento epóxico.
- Colocar flechas de dirección para carriles (M-11) previas (en los km 262+791 y 263+253), de decisión (263+353) y confirmación (263+541).
- Colocar rayas canalizadoras (M-5) en la incorporación hacia Orizaba y en el acceso a Nogales, km 263+376 y 263+480 respectivamente, las cuales estarán reforzadas con vialetas de vidrio templado o dispositivo delineador internamente iluminado. La figura 4.1 muestra la imagen de una vialeta de vidrio templado, en la figura 4.2 vemos a detalle la colocación sobre pavimento asfáltico y la figura 4.3 muestra una imagen nocturna de las vialetas de vidrio colocadas sobre marcas canalizadoras.



**Figura 4.1** Vialeta de vidrio templado.



**Figura 4.2** Colocación de la vialeta de vidrio templado sobre pavimento asfáltico.



**Figura 4.3** Vista de noche de la vialeta de vidrio templado colocada sobre marcas canalizadoras.

- Colocar un vibrador de botones (OD-10.1) a todo lo ancho de la corona, con una longitud de 8.10 metros, iniciando en el km 263+055. El botón será de 10 cm de diámetro y una altura no mayor de 2 cm, dispuestos en tresbolillo, fabricado con aluminio tipo 380 con cuatro venas de refuerzo en una sola

pieza, cuerpo color natural y resistente al rayado, base en forma circular de 100 mm y una altura de 20 mm, colocación por medio de pegamento epóxico.

Respecto al señalamiento vertical se requiere:

- Colocar una señal preventiva (SP-6) en el km 263+145 (ya que la velocidad de proyecto es de 70 km/hr).
- Colocar una serie de indicadores de curva peligrosa (OD-12), conocidos como “chevrones”, cada 20 m a lo largo de la curva, iniciando en el 263+240 y son 7 en total.
- Colocar una señal informativa de recomendación (SIR) con fondo blanco y letras negras tipo bandera en el km 262+000, con la leyenda “PRECAUCIÓN ZONA URBANA”, y en el extremo izquierdo del mismo tablero, una señal restrictiva de velocidad de 60 km.

Se recomienda implementar los siguientes dispositivos de contención indicados:

- Colocar una barrera de concreto hidráulico Tipo New Jersey, desde el km 263+260 hasta el km 264+000, colocada correctamente sobre la superficie de rodamiento y con su respectiva malla antirreflejante. Así mismo consideramos que el anclaje entre módulos sea el correcto a fin de lograr que funcione como un elemento integral y que a la vez facilite la sustitución de estos. En los costados de la barrera será colocada una ménsula reflejante para demarcación de la barrera central. Retirar los postes de concreto y barreras laterales metálicas doble onda existentes y colocar un sistema semirrígido consiste en una barrera metálica triple onda con separador modificado y postes metálicos del lado derecho de la vía, que se encuentra desde el km 262+825 hasta el km 263+370 (pasando por el parapeto del puente) y continuar con ésta desde el km 263+485 hasta el 263+610.

Será necesario tener en cuenta las siguientes recomendaciones generales:

- Colocar tiras de estruendo sobre el acotamiento externo con el fin de advertir al conductor que está próximo a abandonar la superficie de rodamiento (cabe señalar que estas tiras de estruendo no se colocaran en los siguientes casos: intersecciones, entrecruzamientos, carriles de aceleración y deceleración). Las figuras 4.4 y 4.5 muestran la ubicación y profundidad adecuada de las tiras de estruendo.



**Figura 4.4 Ubicación adecuada de la tiras de estruendo.**



**Figura 4.5 Profundidad adecuada del ranurado del acotamiento para formar tiras de estruendo.**

- Mejorar la sección transversal estableciéndola de 3.60 m para el carril y 2.50 m para el acotamiento.
- Unir los cuerpos “A” y “B” con una losa de concreto en la zona de entrecruzamiento del segmento, es decir, al final de la curva en el km 263+400 al 263+425 de tal manera que pueda soportar la barrera central que proponemos en los dispositivos de contención.

## Segmento 2

Para este segmento proponemos dos alternativas de mejoramiento, constituidas por las medidas específicas que se mencionan.

### *Alternativa 1*

Respecto al señalamiento horizontal se requiere:

- Colocar rayas transversales con espaciamiento logarítmico (M-9) a lo ancho de toda la calzada iniciando en el km 264+500 y complementarlas con botones de aluminio tipo tachuela de 10 cm de diámetro (DH-3) dispuestos en tresbolillo, fabricado con aluminio tipo 380 con cuatro venas de refuerzo en una sola pieza, cuerpo color natural y resistente al rayado, base en forma circular de 100 mm y una altura de 20 mm, colocación por medio de pegamento epóxico.
- Colocar un vibrador de botones (OD-10.1) a todo lo ancho de la corona con una longitud de 8.10 metros, iniciando en el km 264+487. El botón será de 10 cm de diámetro y una altura no mayor de 2 cm, dispuestos en tresbolillo, fabricado con aluminio tipo 380 con cuatro venas de refuerzo en una sola pieza, cuerpo color natural y resistente al rayado, base en forma circular de 100 mm y una altura de 20 mm, colocación por medio de pegamento epóxico.

Respecto al señalamiento vertical, es necesario:

- Colocar una serie de indicadores de curva peligrosa (OD-12), conocidos como “chevrone”, cada 20 m a lo largo de la curva, iniciando en el km 264+690 y son en total 13.
- Reubicar la señal informativa de recomendación (SIR) con la leyenda “REDUCTOR DE VELOCIDAD A 150 m” al km 264+800. Cabe mencionar que el tablero de esta señal tendrá fondo blanco y letras y filete negro.
- Colocar señalamiento restrictivo de velocidad (SR-9) de 60 km/h en el kilómetro 264+450.
- Colocar una señal preventiva de curva inversa (SP-8) en el km 264+375.

Se recomienda implementar los siguientes dispositivos de contención:

- Retirar los postes de concreto y barreras laterales metálicas doble onda existentes y colocar un sistema semirrígido consiste en una barrera metálica triple onda con separador modificado y postes metálicos en el lado derecho de la vía, esto a partir del km 264+600 hasta el km 265+010.

Deberán tener en cuenta las siguientes recomendaciones generales:

- Colocar tiras de estruendo sobre el acotamiento externo con el fin de advertir al conductor que está próximo a abandonar la superficie de rodamiento (cabe señalar que estas tiras de estruendo no serán colocadas en los siguientes casos: intersecciones, entrecruzamientos, carriles de aceleración y deceleración).
- Mejorar la sección transversal de 3.60 m para el carril y 2.50 m para el acotamiento.
- Reiteramos la necesidad de ampliar el puente dada la ampliación de la curva.
- Es necesario que la barrera central cuente con rejillas que capten el agua proveniente de la calzada, para evitar la acumulación de esta sobre la superficie de rodamiento.

#### *Alternativa 2*

- Consiste en las medidas ya mencionadas para la alternativa 1, más el mejoramiento de la curva izquierda, modificando el grado de curvatura de  $5^\circ$  a  $3^\circ 15'$ , así como considerar la ampliación total de esta según lo indicado en el Manual de Diseño Geométrico de la SCT, de tal manera que permita al conductor circular a una velocidad aproximada de 90 km/hr (pero tomando en cuenta que el trazo del camino está proyectado para una velocidad de 60 km/hr) y mejorar con ello la visibilidad en el segmento. Esta modificación de la curva requerirá la ampliación del puente ubicado antes de la curva. Lo anterior se muestra en la Figura 4.6, en la cual las líneas punteadas rojas muestran el trazo de la curva actual y las líneas azules muestran el trazo de la curva modificada; esta, como podemos observar, es más suavizada, lo que contribuye a mejorar la seguridad del camino.

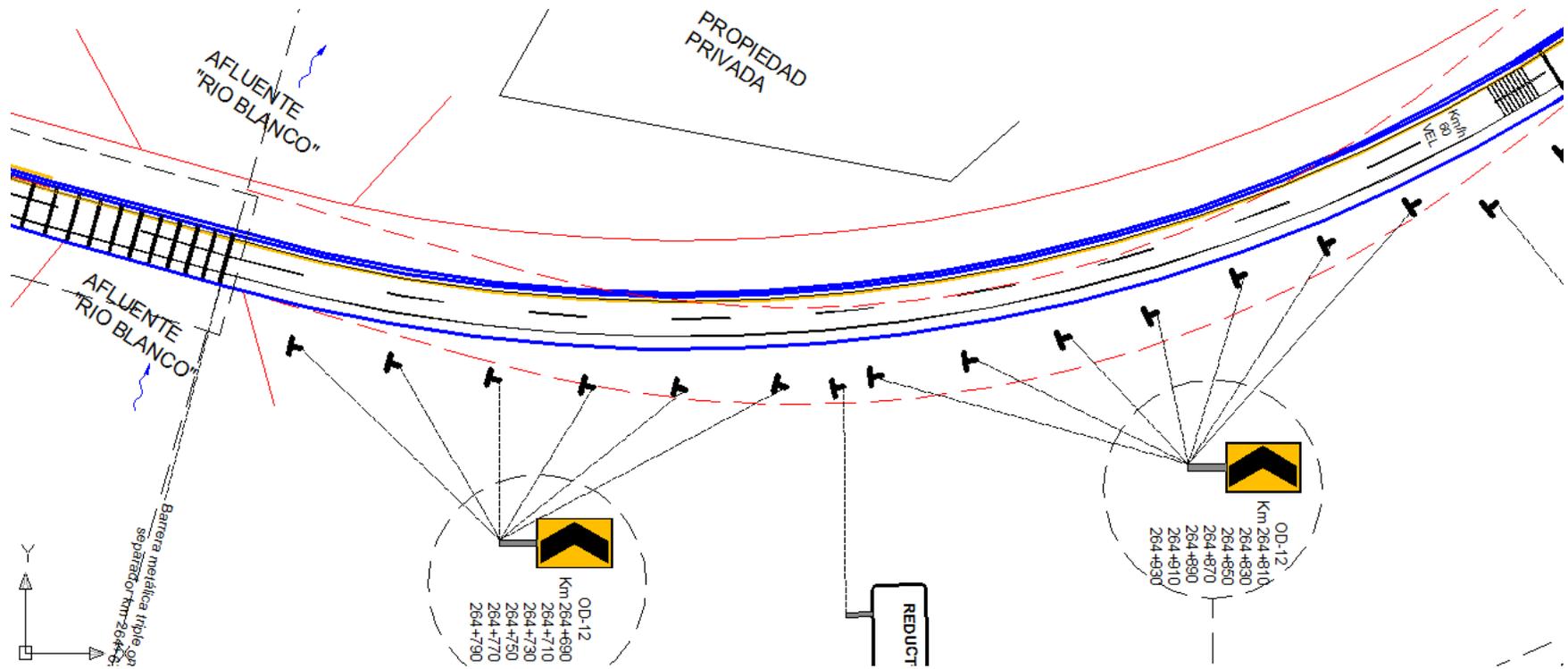


Figura 4.6 Modificación en el trazo de la curva izquierda del segmento 2, cambiando su grado de curvatura de  $5^\circ$  a  $3^\circ 15'$ .

### Segmento 3

Para este segmento proponemos una sola alternativa de mejoramiento, constituida por las medidas específicas que se mencionan.

#### *Alternativa 1*

Respecto al señalamiento horizontal:

- Colocar rayas transversales con espaciamiento logarítmico (M-9) a lo ancho de toda la calzada que comienzan en el km 264+962 y complementarlas con botones de aluminio tipo tachuela de 10 cm de diámetro (DH-3) dispuestos en tresbolillo, fabricado con aluminio tipo 380 con cuatro venas de refuerzo en una sola pieza, cuerpo color natural y resistente al rayado, base en forma circular de 100 mm y una altura de 20 mm, colocación por medio de pegamento epóxico.
- Colocar un vibrador de botones (OD-10.1) a todo lo ancho de la corona con una longitud de 8.10 metros, iniciando en el km 264+949. El botón será de 10 cm de diámetro y una altura no mayor de 2 cm, dispuestos en tresbolillo, fabricado con aluminio tipo 380 con cuatro venas de refuerzo en una sola pieza, cuerpo color natural y resistente al rayado, base en forma circular de 100 mm y una altura de 20 mm, colocación por medio de pegamento epóxico.
- Colocar marcas en el pavimento de límite máximo de velocidad de 60 km/hr en el km 264+932.

Respecto al señalamiento vertical es necesario:

- Colocar una señal preventiva (SP-6) en el km 265+040.
- Colocar una serie de indicadores de curva peligrosa (OD-12), conocidos como "chevrone", cada 20 m a lo largo de la curva, iniciando en el km 265+090 y son en total 4.

Tener en cuenta las siguientes recomendaciones generales:

- Realizar un estudio de estabilización de taludes y control de caídos con el fin de evitar que los desprendimientos caigan sobre la superficie de rodamiento y se recomiende algún método de contención de estos.
- Colocar tiras de estruendo sobre el acotamiento externo con el fin de advertir al conductor que está próximo a abandonar la superficie de rodamiento (cabe señalar que no habrá estas tiras de estruendo en los siguientes casos: intersecciones, entrecruzamientos, carriles de aceleración y deceleración).

- Mejorar la sección transversal de 3.60 m para el carril y 2.50 m para el acotamiento.

#### Segmento 4

Para este segmento se proponen dos alternativas de mejoramiento, constituidas por las medidas específicas que se mencionan.

##### *Alternativa 1*

Respecto al señalamiento horizontal, resulta necesario:

- Colocar rayas transversales con espaciamiento logarítmico realzado (M-9) a lo ancho de toda la calzada iniciando en el km 265+290 y complementarlas con botones de aluminio tipo tachuela de 10 cm de diámetro (DH-3) dispuestos en tresbolillo, fabricado con aluminio tipo 380 con cuatro venas de refuerzo en una sola pieza, cuerpo color natural y resistente al rayado, base en forma circular de 100 mm y una altura de 20 mm, colocación por medio de pegamento epóxico.
- Colocar un vibrador de botones (OD-10.1) a todo lo ancho de la corona con una longitud de 8.10 metros, iniciando en el km 265+277. El botón será de 10 cm de diámetro y una altura no mayor de 2 cm, dispuestos en tresbolillo, fabricado con aluminio tipo 380 con cuatro venas de refuerzo en una sola pieza, cuerpo color natural y resistente al rayado, base en forma circular de 100 mm y una altura de 20 mm, colocación por medio de pegamento epóxico.

Respecto al señalamiento vertical:

- Colocar una señal informativa de recomendación (SIR) con la leyenda “CURVA PELIGROSA A 200 m” en el Km 265+220.
- Colocar una serie de indicadores de curva peligrosa (OD-12), conocidos como “chevrone”, cada 20 m a lo largo de la curva, iniciando en el km 265+430 y en total son 15.
- Colocar una señal elevada tipo bandera en el km 265+290 con un tablero de fondo blanco con la leyenda “CURVA PELIGROSA” al centro del mismo. Sobre el lado derecho del tablero colocar una señal SP-7 de curva derecha y en el lado izquierdo una señal SR-9 de 60 km.

Recomendamos implementar los siguientes dispositivos de contención:

- Reemplazar las barreras laterales ubicadas en los kilómetros 265+516 al 265+534 y 265+668 al 265+672, que protegen las alcantarillas, por unas barreras de triple onda.

Deberán tener en cuenta las siguientes recomendaciones generales:

- Colocar tiras de estruendo sobre el acotamiento externo con el fin de advertir al conductor que está próximo a abandonar la superficie de rodamiento (cabe señalar que estas tiras de estruendo no se colocarán en los siguientes casos: intersecciones, entrecruzamientos, carriles de aceleración y deceleración).
- Mejorar la sección transversal estableciéndola de 3.60 m para el carril y 2.50 m para el acotamiento.
- La barrera central contará con rejillas que capten el agua proveniente de la calzada, para evitar la acumulación de la misma sobre la superficie de rodamiento.

### *Alternativa 2*

Consiste en las medidas ya mencionadas para la alternativa 1, más el mejoramiento de la curva derecha, modificando su grado de curvatura de 6° a 4°15' para permitirle al conductor circular a una velocidad segura. Sin embargo, para poder realizar este tipo de modificación del trazo, se considerarán los siguientes dos aspectos: primero, será necesario remover los ductos propiedad de PEMEX, ubicados en los límites de derecho de vía y que además cruzan la autopista aproximadamente en el km 265+525 (como referencia se encuentra ubicada una alcantarilla). Segundo, será necesario mover grandes volúmenes de material tipo "C", debido a que la curva se encuentra ubicada justo en la zona de corte. Lo anterior aparece en la figura 4.7, en la cual las líneas continuas azules muestran el trazo de la curva actual y las líneas punteadas verdes muestran el trazo de la curva modificada, la que como podemos observar, es más suavizada; lo que contribuye a mejorar la seguridad del camino.

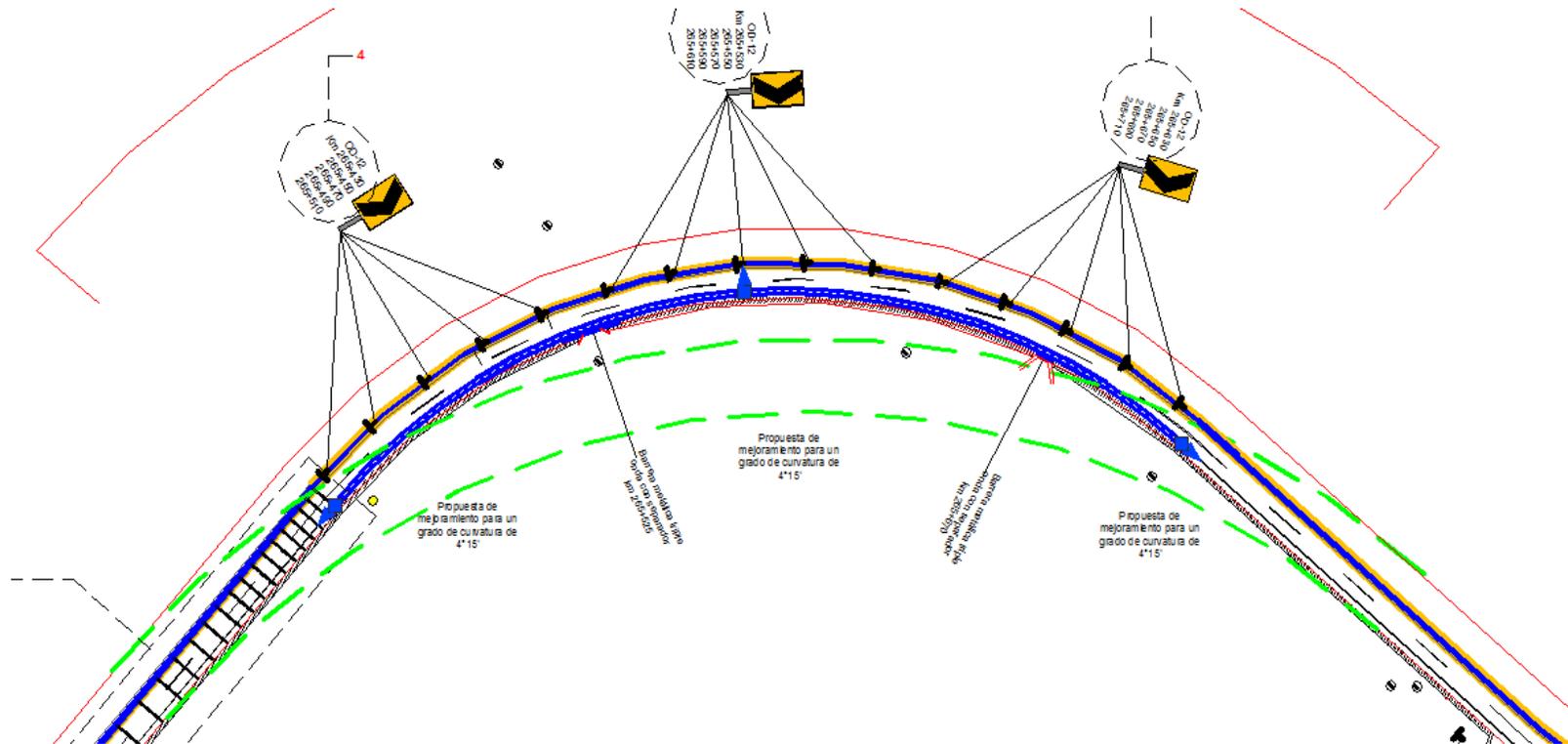


Figura 4.7 Modificación en el trazo de la curva derecha del segmento 4, cambiando su grado de curvatura de 6° a 4° 15'.

## Segmento 5

Para este segmento, proponemos dos alternativas de mejoramiento, constituidas por las medidas específicas mencionadas.

### *Alternativa 1*

Respecto al señalamiento horizontal resulta necesario:

- Colocar rayas transversales con espaciamiento logarítmico (M-9) a lo ancho de toda la calzada iniciando en el km 267+429 y complementarlas con botones de aluminio tipo tachuela de 10 cm de diámetro (DH-3) dispuestos en tresbolillo, fabricado con aluminio tipo 380 con cuatro venas de refuerzo en una sola pieza, cuerpo color natural y resistente al rayado, base en forma circular de 100 mm y una altura de 20 mm, colocación por medio de pegamento epóxico.
- Colocar un vibrador de botones (OD-10.1) a todo lo ancho de la corona con una longitud de 8.10 metros, iniciando en el km 267+416. El botón será de 10 cm de diámetro y una altura no mayor de 2 cm, dispuestos en tresbolillo, fabricado con aluminio tipo 380 con cuatro venas de refuerzo en una sola pieza, cuerpo color natural y resistente al rayado, base en forma circular de 100 mm y una altura de 20 mm, colocación por medio de pegamento epóxico.
- Colocar flechas de dirección para carriles (M-11) previas (km 267+730 y 267+900), de decisión (km 268+085) y confirmación (km 268+170).
- Colocar rayas canalizadoras (M-5) en el retorno del campamento de CAPUFE con dirección hacia Córdoba y en la desviación hacia Orizaba, km 267+840 y km 268+090 respectivamente, las cuales estarán reforzadas con vialetas de vidrio templado o dispositivo delineador internamente iluminado.

Respecto al señalamiento vertical se requiere:

- Cambiar la leyenda que dice “RADAR EN OPERACIÓN” por “CURVAS PELIGROSAS” de la señal informativa de recomendación (SIR) ubicada en el km 267+494.
- Colocar una señal informativa de destino previa y de decisión tipo bandera (SID-13) direccionando los vehículos hacia Orizaba y Córdoba en los km 267+520 y 267+900 respectivamente.
- Colocar una serie de indicadores de curva peligrosa (OD-12), conocidos como “chevrones”, cada 20 m a lo largo de ambas curvas, iniciando en el km 267+600 y son en total seis para esta curva y otras tres al iniciar en el km 267+800 para otra curva.

- Reubicar la señal preventiva de codo inverso (SP-9) con tablero adicional al km 267+285.
- Colocar una señal informativa de recomendación (SIR) con la leyenda “REDUCTOR DE VELOCIDAD A 250 m” en el km 267+167.

Resulta importante considerar las siguientes recomendaciones generales:

- Colocar tiras de estruendo sobre el acotamiento externo con el fin de advertir al conductor que está próximo a abandonar la superficie de rodamiento (cabe señalar que estas tiras de estruendo no se colocarán en los siguientes casos: intersecciones, entrecruzamientos, carriles de aceleración y deceleración).
- Mejorar la sección transversal estableciéndola de 3.60 m para el carril y 2.50 m para el acotamiento.

#### *Alternativa 2*

Proponemos las siguientes recomendaciones generales:

- Colocar tiras de estruendo sobre el acotamiento externo con el fin de advertir al conductor que está próximo a abandonar la superficie de rodamiento (cabe señalar que estas tiras de estruendo no se colocarán en los siguientes casos: intersecciones, entrecruzamientos, carriles de aceleración y deceleración).
- Mejorar la sección transversal estableciéndola de 3.60 m para el carril y 2.50 m para el acotamiento.

Proyectar un Distribuidor Vial a Orizaba reubicando también el Campamento de CAPUFE y la Comandancia de la PFP. Lo anterior con la finalidad de mejorar la seguridad vial del segmento y hacer más adecuadas las maniobras de incorporación y salidas del flujo vehicular. Realizar este distribuidor implica considerar todo el señalamiento adecuado para que este tenga un adecuado funcionamiento. Lo anterior puede ser observado en la figura 4.8.

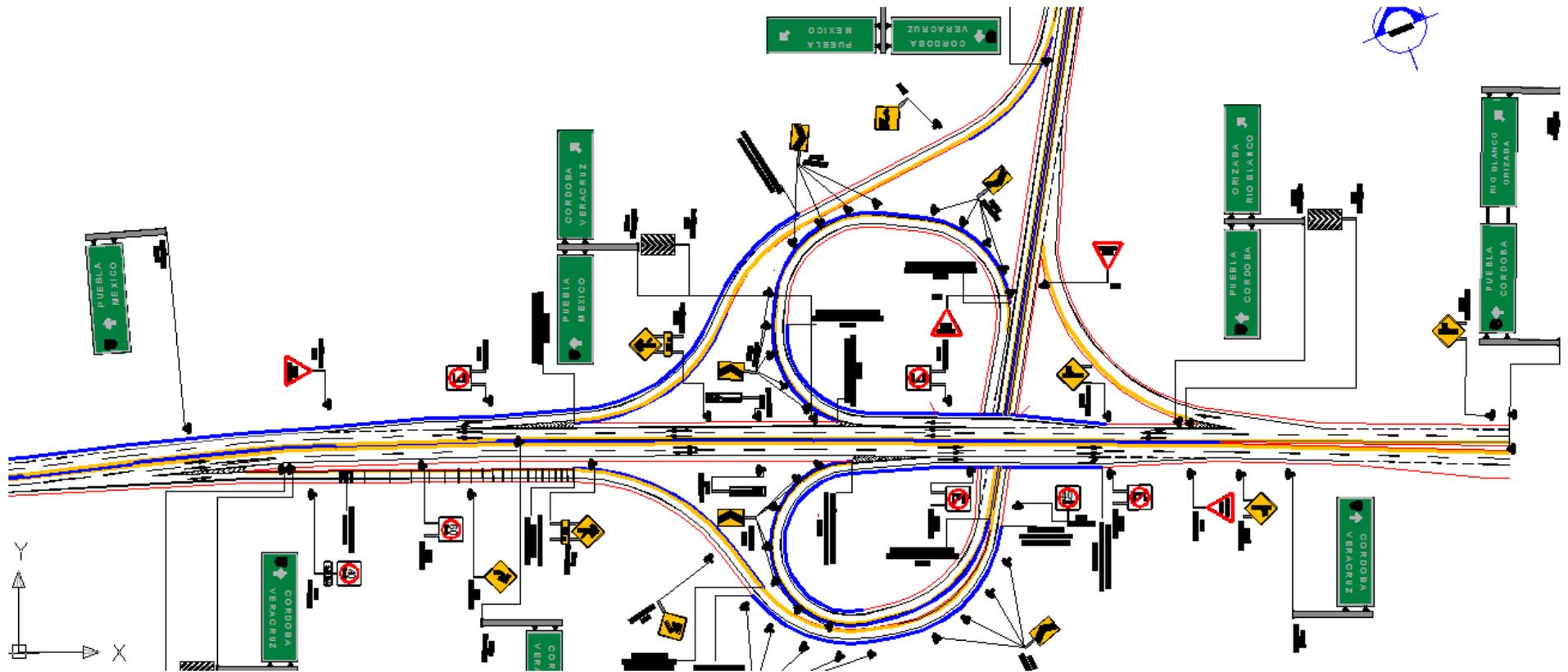


Figura 4.8 Proyección de distribuidor vial a Orizaba.

## Segmento 6

Para este segmento proponemos dos alternativas de mejoramiento, constituidas por las medidas específicas que mencionamos.

### *Alternativa 1*

Para modernizar este segmento, recomendamos crear un carril de aceleración que permita a los conductores incorporarse a la autopista, y que inicie en el km 268+000. También, es necesario reubicar el retorno que se encuentra a un lado de la Comandancia de la PFP.

Respecto al señalamiento horizontal se requiere:

- Colocar rayas transversales con espaciamiento logarítmico realzado (M-9) a lo ancho de toda la calzada iniciando en el km 268+230 y complementarlas con botones de aluminio tipo tachuela de 10 cm. de diámetro (DH-3) dispuestos en tresbolillo, fabricado con aluminio tipo 380 con cuatro venas de refuerzo en una sola pieza, cuerpo color natural y resistente al rayado, base en forma circular de 100 mm y una altura de 20 mm, su colocación será por medio de pegamento epóxico.
- Colocar flechas de dirección para carriles (M-11) previas (km 268+009 y 268+078), de decisión (km 267+907) y confirmación (km 267+831).
- Colocar rayas canalizadoras (M-5) en la incorporación hacia Puebla y en el retorno hacia Córdoba, km 268+010 y 267+850 respectivamente, las cuales estarán reforzadas con vialetas de vidrio templado o dispositivo delineador internamente iluminado.
- Colocar un vibrador de botones (OD-10.1) a todo lo ancho de la corona con una longitud de 8.10 metros, que inicie en el km 268+243. El botón será de 10 cm de diámetro y una altura no mayor de 2 cm, dispuestos en tresbolillo, fabricado con aluminio tipo 380 con cuatro venas de refuerzo en una sola pieza, cuerpo color natural y resistente al rayado, base en forma circular de 100 mm y una altura de 20 mm, su colocación será por medio de pegamento epóxico.

Respecto al señalamiento vertical es necesario:

- Colocar una señal restrictiva de velocidad (SR-9) de 60 km/h en el kilómetro 268+090.
- Colocar una señal preventiva (SP-17) de incorporación de tránsito en el km 268+165 en ambos lados del cuerpo.

Recomendamos colocar el parapeto del paso superior vertical (PSV), así como dar continuidad a la barrera metálica triple onda semirrígida con separador modificado lateral derecha a partir del km 268+020 (pasando por el parapeto del puente) y hasta el 268+207.

Proponemos tomar en cuenta las siguientes recomendaciones generales:

- Retirar los postes de concreto y barreras laterales metálicas doble onda existentes y colocar un sistema semirrígido consiste en una barrera metálica triple onda con separador modificado y postes metálicos.
- Colocar tiras de estruendo sobre el acotamiento externo con el fin de advertir al conductor que está próximo a abandonar la superficie de rodamiento (cabe señalar que estas tiras de estruendo no serán colocadas en los siguientes casos: intersecciones, entrecruzamientos, carriles de aceleración y deceleración).
- Mejorar la sección transversal estableciéndola de 3.60 m para el carril y 2.50 m para el acotamiento.

#### *Alternativa 2*

Deberán considera las siguientes recomendaciones generales:

- Colocar tiras de estruendo sobre el acotamiento externo con el fin de advertir al conductor que está próximo a abandonar la superficie de rodamiento (cabe señalar que estas tiras de estruendo no serán colocadas en los siguientes casos: intersecciones, entrecruzamientos, carriles de aceleración y deceleración).
- Mejorar la sección transversal estableciéndola de 3.60 m para el carril y 2.50 m para el acotamiento.

Proyectar un Distribuidor Vial a Orizaba reubicando también el Campamento de CAPUFE y la Comandancia de la PFP. Lo anterior con la finalidad de mejorar la seguridad vial del segmento y hacer más adecuadas las maniobras de incorporación y salidas del flujo vehicular. Realizar este distribuidor implica considerar todo el señalamiento adecuado para que este tenga un correcto funcionamiento. Lo anterior puede ser observado en la Figura 4.8, cabe mencionar que coincide con el lugar donde se encuentra el Segmento 5, solo que el Segmento 6 está en el cuerpo "B". La construcción del Distribuidor Vial a Orizaba puede ser una adecuada alternativa de mejoramiento que disminuya en mayor grado la frecuencia y/o severidad de los accidentes en ambos segmentos.

#### *Segmento 7, en ambas direcciones*

Para este segmento, proponemos una sola alternativa de mejoramiento, constituida por las medidas específicas mencionamos.

#### *Alternativa 1*

Para modernizar este segmento se recomienda construir un carril de aceleración y deceleración para ambos cuerpos en las áreas comerciales y de servicios, lo que brindará al conductor una mejor visibilidad y seguridad al momento de realizar alguna maniobra en esta zona.

También serán separados los flujos vehiculares por medio de una barrera metálica triple onda en el área comercial y de servicios que además tendrá la finalidad de que los vehículos no se estacionen en las zonas prohibidas. La barrera metálica triple onda que será instalada en el área comercial y de servicios, estará anclada correctamente a la superficie de rodamiento y debidamente conectada entre módulos, para lograr su buen funcionamiento. Inicia en el km 268+529 al 268+935 en cuerpo "A" y del km 268+910 al 268+673 en el cuerpo "B".

Respecto al señalamiento horizontal resulta necesario:

- Colocar rayas transversales con espaciamiento logarítmico realzado (M-9) en el cuerpo "B", a lo ancho de toda la calzada, a partir del km 268+634 y complementarlas con botones de aluminio tipo tachuela de 10 cm. de diámetro (DH-3) dispuestos en tresbolillo, iniciando a partir del km 268+634 fabricado con aluminio tipo 380 con cuatro venas de refuerzo en una sola pieza, cuerpo color natural y resistente al rayado, base en forma circular de 100 mm y una altura de 20 mm, su colocación será por medio de pegamento epóxico.
- Colocar un vibrador de botones (OD-10.1) a todo lo ancho de la corona con una longitud de 8.10 metros, iniciando en el km 268+647, en el cuerpo "B". El botón será de 10 cm de diámetro y una altura no mayor de 2 cm, dispuestos en tresbolillo, fabricado con aluminio tipo 380 con cuatro venas de refuerzo en una sola pieza, cuerpo color natural y resistente al rayado, base en forma circular de 100 mm y una altura de 20 mm, su colocación será ser por medio de pegamento epóxico.
- Colocar flechas de dirección para carriles (M-11) previas (km 268+846 en el cuerpo "A" y km 269+205, 268+802 en el cuerpo "B"), de decisión (km 268+287, 269+020 en el cuerpo "A" y km 269+085, 268+599, 268+357 en el cuerpo "B") y confirmación (km 268+425, 269+261 en el cuerpo "A" y km 269+035, 268+448 en el cuerpo "B"), en ambos cuerpos.
- Colocar rayas canalizadoras (M-5) en los carriles de aceleración y deceleración en ambos cuerpos (que sería en el km 268+487, 268+935 en el cuerpo "A" y

268+910, 268+673 en el cuerpo “B”), las cuales estarán reforzadas con vialetas de vidrio templado o dispositivo delineador internamente.

Respecto al señalamiento vertical proponemos:

- Colocar señales restrictiva (SR-22) con la leyenda “PROHIBIDO ESTACIONARSE”, en los carriles de aceleración y deceleración. En el cuerpo “A” serán colocadas en los km 268+450, 268+600, 268+737, 268+874, 269+017 y en el cuerpo “B” en los km 268+714, 268+844 y 269+030.
- Colocar la señal preventiva de salida (SP-19) en el km 268+410, en el cuerpo “B”.
- Reubicar la señal informativa de recomendación (SIR) “PRECAUCIÓN ENTRONQUE PELIGROSO” del km 268+978 al km 268+426, en el cuerpo “B”.
- Retirar las señales informativas de recomendación (SIR) de los kilómetros 268+426 “DISMINUYA VELOCIDAD ENTRONQUE” y 269+100 “RADAR EN OPERACIÓN”, en el cuerpo “B”.
- Colocar una señal informativa de servicios (SIS-26) “S.O.S A 500 m” en el km 268+950, del cuerpo “B”.

Las siguientes recomendaciones generales son fundamentales:

- Retirar los postes de concreto y barreras laterales metálicas doble onda existentes y colocar un sistema semirrígido consiste en una barrera metálica triple onda con separador modificado y postes metálicos.
- Colocar tiras de estruendo sobre el acotamiento externo con el fin de advertir al conductor que está próximo a abandonar la superficie de rodamiento (cabe señalar que estas tiras de estruendo no serán colocadas en los siguientes casos: intersecciones, entrecruzamientos, carriles de aceleración y deceleración
- Mejorar la sección transversal estableciéndola de 3.60 m para el carril y 2.50 m para el acotamiento.

### *Segmento 8*

Para este segmento proponemos una sola alternativa de mejoramiento, constituida por las medidas específicas que a continuación enlistamos.

#### *Alternativa 1*

Respecto al señalamiento horizontal se requiere:

- Colocar rayas transversales con espaciamiento logarítmico realizado (M-9) a lo ancho de toda la calzada a partir del km 272+067 y complementarlas con botones de aluminio tipo tachuela de 10 cm. de diámetro (DH-3) dispuestos en tresbolillo, fabricado con aluminio tipo 380 con cuatro venas de refuerzo en una sola pieza, cuerpo color natural y resistente al rayado, base en forma circular de 100 mm y una altura de 20 mm, su colocación será por medio de pegamento epóxico.
- Colocar flechas de dirección para carriles (M-11) previas (km 271+866), de decisión (km 272+106) y confirmación (km 272+255).
- Colocar un vibrador de botones (OD-10.1) a todo lo ancho de la corona con una longitud de 8.10 metros, iniciando en el km 272+054. El botón será de 10 cm de diámetro y una altura no mayor de 2 cm, dispuestos en tresbolillo, fabricado con aluminio tipo 380 con cuatro venas de refuerzo en una sola pieza, cuerpo color natural y resistente al rayado, base en forma circular de 100 mm y una altura de 20 mm, su colocación será por medio de pegamento epóxico.
- Colocar rayas canalizadoras (M-5) en la salida a Jalapilla en el km 272+364, las cuales estarán reforzadas con vialetas de vidrio templado o dispositivo delineador internamente iluminado.

Respecto al señalamiento vertical resulta fundamental:

- Colocar una serie de indicadores de curva peligrosa (OD-12) conocidos como “chevrones” cada 20 m a lo largo de la curva, desde el km 272+400 y son cinco en total.
- Cambiar el color del tablero, ya que lo tienen en fondo rojo, a las señales informativas de recomendación (SIR) que se encuentran ubicadas en los kilómetros 271+826 y 272+417. Cabe mencionar que el tablero de estas señales deben tener fondo blanco y letras y filete negro.
- Retirar el indicador de obstáculos (OD-5) del km 272+354.
- Modificar la señal restrictiva (SR-9) del km 272+213, ya que cuenta con un tablero adicional en la parte superior y éste debe de ir en la parte inferior del SR-9.
- Colocar una señal preventiva (SP-19) en el km 271+860.

Para mejorar la seguridad en el tramo estudiado, se recomienda colocar una barrera metálica triple onda semirrígida con amortiguador de impacto en el lado derecho de la vía, desde el km 272+364 hasta la pila del puente en el km 272+498, la cual se anclará correctamente a la superficie de rodamiento. Para

lograr el buen funcionamiento de la barrera, es importante que la conexión entre los módulos sea la correcta.

Proponemos tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Colocar un carril de deceleración para el acceso a Jalapilla de iniciando en el km 272+139.
- Colocar marcas (M-13.1) en la estructura del Paso Inferior Vehicular (PIV), inclinadas a 45° y alternando los colores negro y blanco reflejante hasta una altura de 3 m, el cual se encuentra ubicado en el km 272+498.
- Retirar los postes de concreto y barreras laterales metálicas doble onda existentes y colocar un sistema semirrígido consiste en una barrera metálica triple onda con separador modificado y postes metálicos.
- Colocar tiras de estruendo sobre el acotamiento externo con el fin de advertir al conductor que está próximo a abandonar la superficie de rodamiento (cabe señalar que estas tiras de estruendo no serán colocadas en los siguientes casos: intersecciones, entrecruzamientos, carriles de aceleración y deceleración).
- Mejorar la sección transversal estableciéndola de 3.60 m para el carril y 2.50 m para el acotamiento.

### *Segmento 9*

Para este segmento proponemos dos alternativas de mejoramiento, constituidas por las medidas específicas que se mencionan.

#### *Alternativa 1*

Para modernizar el segmento, recomendamos construir un carril de aceleración para los vehículos que se incorporan a la autopista a partir del km 291+793. Lo anterior implica considerar e incluir los dispositivos y señalamientos necesarios para llevar a cabo esta modificación.

Respecto al señalamiento horizontal proponemos:

- Colocar rayas transversales con espaciamiento logarítmico realzado (M-9) a lo ancho de toda la calzada iniciando en el km 291+326 y complementarlas con botones de aluminio tipo tachuela de 10 cm. de diámetro (DH-3) dispuestos en tresbolillo, fabricado con aluminio tipo 380 con cuatro venas de refuerzo en una sola pieza, cuerpo color natural y resistente al rayado, base en forma circular de 100 mm y una altura de 20 mm, su colocación será por medio de pegamento epóxico.

- Colocar flechas de dirección para carriles (M-11) previas (km 291+902), de decisión (km 291+638 y 292+031) y confirmación (km 291+749).
- Colocar rayas canalizadoras (M-5) en las incorporaciones hacia Veracruz y salida a La luz y Córdoba, esto sería en los km 291+589, 291+720 y 291+794, las cuales estarán reforzadas con vialetas de vidrio templado o dispositivo delineador internamente iluminado.
- Colocar un vibrador de botones (OD-10.1) a todo lo ancho de la corona con una longitud de 8.10 metros, iniciando en el km 291+313. El botón será de 10 cm de diámetro y una altura no mayor de 2 cm, dispuestos en tresbolillo, fabricado con aluminio tipo 380 con cuatro venas de refuerzo en una sola pieza, cuerpo color natural y resistente al rayado, base en forma circular de 100 mm y una altura de 20 mm, su colocación será por medio de pegamento epóxico.

Respecto al señalamiento vertical, resulta básico:

- Colocar una señal preventiva (SP-17) de incorporación de tránsito en los kilómetros 291+330 y 291+750.
- Colocar señales restrictivas (SR-22) en los kilómetros 291+690, 291+920 y 292+040.
- Colocar señalamiento restrictivo de velocidad (SR-9) de 80 km/h en el kilómetro 292+160.
- Reubicar la señal restrictiva (SR-7) en el mismo km 291+793 pero ponerla del lado derecho, así como la señal informativa de destino (SID-11) al km 292+200, que estaba anteriormente mal ubicada en el lugar de la incorporación en el km 291+826.
- Corregir la señal informativa de destino (SID-15) ubicada en el km 291+431, ya que tiene mal la dirección hacia La Luz y Córdoba.
- Colocar una señal informativa de recomendación tipo bandera (SIR) con la leyenda "PRECAUCIÓN ZONA URBANA" con una señal restrictiva de velocidad (SR-9) de 60 km/h en el lado izquierdo del tablero, en el km 291+090.

Para mejorar la seguridad en el tramo estudiado, recomendamos retirar todas las barreras existentes, sustituirlas y darles continuidad con una barrera metálica triple onda con separador modificado, del lado izquierdo de la vía, a partir del km 291+031 y hasta el 291+740 y del lado derecho del km 291+680 al 291+720, las cuales se anclarán correctamente a la superficie de rodamiento. Para lograr el

buen funcionamiento de la barrera, es importante que la conexión entre los módulos sea la correcta.

Hacemos las siguientes recomendaciones generales:

- Rehabilitar el pavimento en la zona de entrecruzamiento del Paso Inferior Vehicular (PIV), ubicado entre los kilómetros 291+665 y 291+682.
- Colocar marcas (M-13.1) en la estructura del Paso Inferior Vehicular (PIV) hasta una altura de 3m, inclinadas a 45° y alternando los colores negro y blanco reflejante, ubicado en el km 291+663.
- Retirar los postes de concreto y barreras laterales metálicas doble onda existentes y colocar un sistema semirrígido consiste en una barrera metálica triple onda con separador modificado y postes metálicos.
- Colocar tiras de estruendo sobre el acotamiento externo con el fin de advertir al conductor que está próximo a abandonar la superficie de rodadura (cabe señalar que estas tiras de estruendo no se colocarán en los siguientes casos: intersecciones, entrecruzamientos, carriles de aceleración y deceleración).
- Mejorar la sección transversal estableciéndola de 3.60 m para el carril y 2.50 m para el acotamiento.

#### *Alternativa 2*

Tener en cuenta las siguientes recomendaciones generales:

- Colocar tiras de estruendo sobre el acotamiento externo con la finalidad de advertir al conductor que está próximo a abandonar la superficie de rodadura (cabe señalar que estas tiras de estruendo no serán colocadas en los siguientes casos: intersecciones, entrecruzamientos, carriles de aceleración y deceleración).
- Mejorar la sección transversal estableciéndola de 3.60 m para el carril y 2.50 m para el acotamiento.

Proyectar un Distribuidor Vial a Córdoba, con la finalidad de mejorar la seguridad vial del segmento y hacer más adecuadas las maniobras de incorporación y salidas. Realizar este distribuidor implica considerar todo el señalamiento adecuado para que éste tenga un adecuado funcionamiento. Lo anterior puede ser observado en la figura 4.9

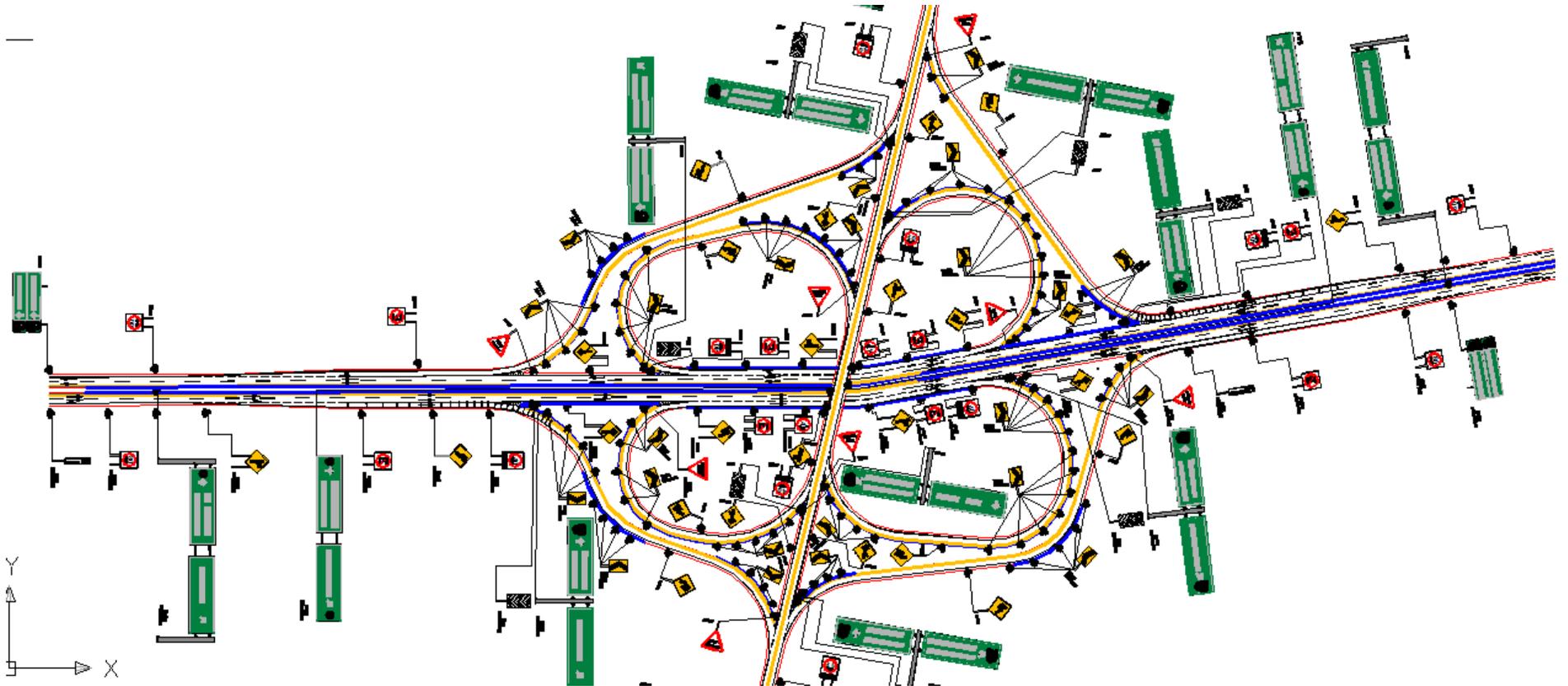


Figura 4.9 Proyección de distribuidor vial a Córdoba.

### Segmento 10

Para este segmento proponemos una sola alternativa de mejoramiento, constituida por las medidas específicas que comentamos.

#### *Alternativa 1*

Para modernizar el segmento sugerimos construir un carril de aceleración y deceleración, lo cual implica considerar e incluir los dispositivos y señalamientos necesarios para llevar a cabo esta modificación del trazo, estos iniciarán en los kilómetros 297+037 y 297+552, respectivamente.

Para construir el carril de aceleración, deberán tomar en cuenta un estudio estructural del puente Paso Inferior de Ferrocarriles (P.I.F.F.C.C.) "VIA MUERTA" ya que proponemos construirlo entre la pila y el estribo. El estudio determinará si el material acumulado de dicha zona no sea parte de un cono de abatimiento que afecte la estructura del puente. Sin embargo, si esto fuese así, se propone construir otra pila o un conjunto de columnas contiguas al estribo que mitigue el efecto de retirar el cono de abatimiento.

En la figura 4.10, se muestra una vista del puente P.I.F.F.C.C. "VIA MUERTA" donde se indica con un círculo dónde se propone la construcción de un carril de aceleración.

Respecto al señalamiento horizontal resulta importante:

- Colocar rayas transversales con espaciamiento logarítmico realzado (M-9) a lo ancho de toda la calzada iniciando en el km 297+249 y complementarlas con botones de aluminio tipo tachuela de 10 cm. de diámetro (DH-3) dispuestos en tresbolillo, fabricado con aluminio tipo 380 con cuatro venas de refuerzo en una sola pieza, cuerpo color natural y resistente al rayado, base en forma circular de 100 mm y una altura de 20 mm, su colocación será por medio de pegamento epóxico.
- Colocar flechas de dirección para carriles (M-11) previas (km 296+996 y 297+704), de decisión (km 296+878 y 297+555) y confirmación (km 296+768, 297+149 y 297+405).
- Colocar rayas canalizadoras (M-5) en el acceso a Córdoba e incorporación a Orizaba, en los km 297+254 y 297+079, respectivamente, las cuales estarán reforzadas con vialetas de vidrio templado o dispositivo delineador internamente iluminado.
- Colocar rayas separadoras de carriles (M-2), así como rayas en la orilla de la calzada (M-3), según corresponda al diseño geométrico.



**Figura 4.10 Vista del puente P.I.F.F.C.C. “VIA MUERTA” donde se propone la construcción de un carril de aceleración.**

- Colocar un vibrador de botones (OD-10.1) a todo lo ancho de la corona con una longitud de 8.10 metros, a partir del km 297+262. El botón será de 10 cm de diámetro y una altura no mayor de 2 cm, dispuestos en tresbolillo, fabricado con aluminio tipo 380 con cuatro venas de refuerzo en una sola pieza, cuerpo color natural y resistente al rayado, base en forma circular de 100 mm. y una altura de 20 mm, su colocación será por medio de pegamento epóxico.

Respecto al señalamiento vertical se requiere:

- Colocar una señal informativa de recomendación (SIR) con la leyenda “PRECAUCIÓN INCORPORACIÓN DE VEHÍCULOS” en el km 297+140.
- Colocar una señal restrictiva (SR-22) en el km 296+909 y en el km 297+450.
- Colocar señalamiento restrictivo de velocidad (SR-9) de 80 km/h en el kilómetro 297+600.
- Reemplazar la señal informativa de destino (SID-10) por una de tipo puente (SID-15) en el km 297+950.

Sugerimos colocar marcas (M-13.1) en la estructura del Paso Inferior Vehicular (PIV) y del Paso Inferior de Ferrocarriles (P.I.F.F.C.C.) , inclinadas a 45° y alternando los colores negro y blanco reflejante, hasta una altura de 3 m, ubicados en los kilómetros 297+172 y 297+037, respectivamente.

Tómense en cuenta las siguientes recomendaciones generales:

- Colocar tiras de estruendo sobre el acotamiento externo con el fin de advertir al conductor que está próximo a abandonar la superficie de rodamiento (cabe señalar que estas tiras de estruendo no serán colocadas en los siguientes casos: intersecciones, entrecruzamientos, carriles de aceleración y deceleración).

Mejorar la sección transversal estableciéndola de 3.60 m para el carril y 2.50 m para el acotamiento.

## 5 Evaluación económica y priorización de mejoras

---

Realizamos la evaluación económica para comparar los beneficios en recursos de las alternativas de mejoramiento determinadas ya con anterioridad, contra sus costos; con el fin de determinar las alternativas más convenientes o rentables.

En una evaluación económica, los costos del proyecto son abordados en términos monetarios. Existen varios tipos de dicha evaluación, entre ellos se encuentra el análisis beneficio-costos y el de índice de efectividad; ambos comienzan cuantificando los beneficios de un proyecto propuesto, que son expresados como el cambio estimado en la frecuencia y/o severidad de los accidentes, como resultado de implementar las alternativas de mejoramiento. En el análisis de beneficio-costos, el cambio esperado en la frecuencia y/o severidad de los accidentes es convertido a valores monetarios y finalmente son comparados con el costo de implementar las alternativas de mejoramiento. En el análisis de índice de efectividad, el cambio en la frecuencia de accidentes es comparado directamente con el costo de implementar las alternativas de mejoramiento.

Como resultado del proceso de evaluación económica, las alternativas de mejoramiento determinadas para cada sitio pueden ser organizadas en orden descendente o ascendente, tomando en cuenta las siguientes características:

- Costo del proyecto.
- Valor monetario de los beneficios del proyecto.
- Número de accidentes totales que se redujeron.
- Número de accidentes fatales y con lesiones incapacitantes que se redujeron.
- Número de accidentes fatales y con lesiones que se redujeron.
- Valor Presente Neto (VPN).
- Relación Beneficio-Costo (B/C).

Así, una vez realizado lo anterior, podemos llevar a cabo la selección de la o las alternativas de mejoramiento que pudieren implementarse en el segmento, para llegar así al paso final de la priorización de estas.

## 5.1 Estimación del costo de las alternativas

La estimación de los costos asociados con la implementación de las alternativas de mejoramiento sigue el mismo procedimiento que la realización de costos de estimación para un proyecto de construcción o la implementación de un programa. Los costos anuales o futuros de las alternativas de mejoramiento de construcción o implementación necesitan ser descontados o convertidos a valores presentes.

A continuación, en la tabla 5.1, aparecen los costos de estimación de las alternativas de mejoramiento propuestas para cada segmento, en todos los casos son costos iniciales o costos incurridos al inicio de la vida útil (u horizonte de análisis de la mejora).

**TABLA 5.1 Costos de estimación de las alternativas de mejoramiento**

SEGMENTO	ALTERNATIVA	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (US\$)	TOTAL (US\$)	
1	1	Delineación	km-carril	2.760	3,000.11	8,280.29	
		Señalamiento horizontal	km-carretera	0.719	18,000.00	12,942.00	
		Señalamiento vertical	km-carretera	1.380	18,000.00	24,840.01	
		Barrera New Jersey	km	0.740	97,500.13	72,150.09	
		Barrera metálica triple onda	km	0.670	97,500.13	65,325.08	
		Tiras de estruendo	km	0.400	12,000.11	4,800.04	
		Ampliar carril	km-carril	0.500	23,999.90	11,999.95	
		Ampliar acotamiento	km-carretera	0.500	59,999.91	29,999.95	
		Losa concreto	m <sup>2</sup>	25.000	60.00	1,500.00	
		Costo de la alternativa					
2	1	Delineación	km-carril	1.150	3,000.11	3,450.12	
		Señalamiento horizontal	km-carretera	0.097	18,000.00	1,746.00	
		Señalamiento vertical	km-carretera	0.575	18,000.00	10,350.00	
		Barrera metálica triple onda	km	0.410	97,500.13	39,975.05	
		Tiras de estruendo	km	0.500	12,000.11	6,000.05	
		Ampliar carril	km-carril	1.000	23,999.90	23,999.90	
		Ampliar acotamiento	km-carretera	0.500	59,999.91	29,999.95	
		Ampliar puente	m	16.000	10,000.00	160,000.00	
		Rejillas captadoras de agua en la barrera central	km	0.500	50,000.00	25,000.00	
	Costo de la alternativa						300,521.08
	2	2	Delineación	km-carril	1.150	3,000.11	3,450.12
			Señalamiento horizontal	km-carretera	0.097	18,000.00	1,746.00
			Señalamiento vertical	km-carretera	0.575	18,000.00	10,350.00
			Barrera metálica triple onda	km	0.410	97,500.13	39,975.05
			Tiras de estruendo	km	0.500	12,000.11	6,000.05
			Ampliar carril	km-carril	1.000	23,999.90	23,999.90

5 Evaluación económica y priorización de mejoras

		Ampliar acotamiento	km-carretera	0.500	59,999.91	29,999.95	
		Ampliar puente	m	16.000	10,000.00	160,000.00	
		Rejillas captadoras de agua en la barrera central	km	0.500	50,000.00	25,000.00	
		Mejoramiento del trazo de la curva izquierda	km-carril	0.534	120,000.13	64,080.07	
		Costo de la alternativa				364,601.15	
3	1	Delineación	km-carril	1.000	3,000.11	3,000.11	
		Señalamiento horizontal	km-carretera	0.114	18,000.00	2,052.00	
		Señalamiento vertical	km-carretera	0.130	18,000.00	2,340.00	
		Estabilización de talud lateral derecho	km	0.500	45,000.01	22,500.01	
		Tiras de estruendo	km	0.500	12,000.11	6,000.05	
		Ampliar carril	km-carril	1.000	23,999.90	23,999.90	
		Ampliar acotamiento	km-carretera	0.500	59,999.91	29,999.95	
		Costo de la alternativa				89,892.02	
4	1	Delineación	km-carril	1.220	3,000.11	3,660.13	
		Señalamiento horizontal	km-carretera	0.097	18,000.00	1,746.00	
		Señalamiento vertical	km-carretera	0.610	18,000.00	10,980.00	
		Barrera metálica triple onda	km	0.022	97,500.13	2,145.00	
		Tiras de estruendo	km	0.500	12,000.11	6,000.05	
		Ampliar carril	km-carril	1.000	23,999.90	23,999.90	
		Ampliar acotamiento	km-carretera	0.500	59,999.91	29,999.95	
		Rejillas captadoras de agua en la barrera central	km	0.500	50,000.00	25,000.00	
			Costo de la alternativa				103,531.04
		2	Delineación	km-carril	1.220	3,000.11	3,660.13
			Señalamiento horizontal	km-carretera	0.097	18,000.00	1,746.00
			Señalamiento vertical	km-carretera	0.610	18,000.00	10,980.00
			Barrera metálica triple onda	km	0.022	97,500.13	2,145.00
			Tiras de estruendo	km	0.500	12,000.11	6,000.05
	Ampliar carril		km-carril	1.000	23,999.90	23,999.90	
		Ampliar acotamiento	km-carretera	0.500	59,999.91	29,999.95	
		Rejillas captadoras de agua en la barrera central	km	0.500	50,000.00	25,000.00	
		Mejoramiento del trazo de la curva derecha	km-carril	0.800	120,000.13	96,000.10	
		Costo de la alternativa				199,531.15	
5	1	Delineación	km-carril	1.520	3,000.11	4,560.16	
		Señalamiento horizontal	km-carretera	0.760	18,000.00	13,680.00	
		Señalamiento vertical	km-carretera	0.733	18,000.00	13,194.00	
		Tiras de estruendo	km	0.500	12,000.11	6,000.05	
		Ampliar carril	km-carril	0.500	23,999.90	11,999.95	
		Ampliar acotamiento	km-carretera	0.500	59,999.91	29,999.95	
			Costo de la alternativa				79,434.12
		2	Delineación	km-carril	3.678	3,000.11	11,034.39
			Señalamiento horizontal	km-carretera	1.205	18,000.00	21,690.00
			Señalamiento vertical	km-carretera	1.839	18,000.00	33,102.01
	Tiras de estruendo		km	0.350	12,000.11	4,200.04	
		Ampliar carril	km-carril	0.500	23,999.90	11,999.95	

Gestión de alternativas de mejoramiento para el tramo Cd. Mendoza-Córdoba utilizando el Manual de Seguridad Vial de la AASHTO 2010

		Ampliar acotamiento	km-carretera	0.500	59,999.91	29,999.95	
		Paso a desnivel	intersección	1.000	4,500,000.06	4,500,000.06	
		Carril de giro no señalizado	intersección	1.000	37,499.90	37,499.90	
		Costo de la alternativa				4,649,526.31	
6	1	Delineación	km-carril	1.000	3,000.11	3,000.11	
		Carril de aceleración	km	0.250	239,999.95	59,999.99	
		Señalamiento horizontal	km-carretera	0.417	18,000.00	7,506.00	
		Señalamiento vertical	km-carretera	0.117	18,000.00	2,106.00	
		Barrera metálica triple onda	km	0.187	97,500.13	18,232.52	
		Tiras de estruendo	km	0.250	12,000.11	3,000.03	
		Ampliar carril	km-carril	0.500	23,999.90	11,999.95	
		Ampliar acotamiento	km-carretera	0.500	59,999.91	29,999.95	
			Costo de la alternativa				135,844.55
		2	Delineación	km-carril	3.656	3,000.11	10,968.38
			Señalamiento horizontal	km-carretera	0.473	18,000.00	8,505.00
			Señalamiento vertical	km-carretera	1.828	18,000.00	32,904.01
			Tiras de estruendo	km	0.230	12,000.11	2,760.02
			Ampliar carril	km-carril	0.500	23,999.90	11,999.95
			Ampliar acotamiento	km-carretera	0.500	59,999.91	29,999.95
			Paso a desnivel	intersección	1.000	4,500,000.06	4,500,000.06
	Carril de giro no señalizado		intersección	3.000	37,499.90	112,499.71	
		Costo de la alternativa				4,709,637.10	
7	1	Delineación	km-carril	1.836	3,000.11	5,508.19	
		Carril de aceleración	km	0.450	239,999.95	107,999.98	
		Carril de deceleración	km	0.450	239,999.95	107,999.98	
		Barrera metálica triple onda	km	0.643	97,500.13	62,692.58	
		Señalamiento horizontal	0.918	0.500	18,000.00	9,000.00	
		Señalamiento vertical	km-carretera	0.918	18,000.00	16,524.00	
		Tiras de estruendo	km	0.620	12,000.11	7,440.07	
		Ampliar carril	km-carril	0.500	23,999.90	11,999.95	
		Ampliar acotamiento	km-carretera	0.500	59,999.91	29,999.95	
		Costo de la alternativa				359,164.70	
8	1	Delineación	km-carril	1.348	3,000.11	4,044.14	
		Señalamiento horizontal	km-carretera	0.520	18,000.00	9,360.00	
		Señalamiento vertical	km-carretera	0.674	18,000.00	12,132.00	
		Barrera metálica triple onda	km	0.134	97,500.13	13,065.02	
		Carril de deceleración	km	0.200	239,999.95	47,999.99	
		Tiras de estruendo	km	0.300	12,000.11	3,600.03	
		Ampliar carril	km-carril	1.000	23,999.90	23,999.90	
		Ampliar acotamiento	km-carretera	0.500	59,999.91	29,999.95	
		Costo de la alternativa				144,201.04	
9	1	Delineación	km-carril	2.220	3,000.11	6,660.23	
		Carril de aceleración	km	0.300	239,999.95	71,999.98	
		Señalamiento horizontal	km-carretera	0.723	18,000.00	13,014.00	
		Señalamiento vertical	km-carretera	1.110	18,000.00	19,980.00	

		Barrera metálica triple onda	km	0.749	97,500.13	73,027.59
		Rehabilitar pavimento	km-carril	0.017	5,999.90	102.00
		Tiras de estruendo	km	0.140	12,000.11	1,680.01
		Ampliar carril	km-carril	1.000	23,999.90	23,999.90
		Ampliar acotamiento	km-carretera	0.500	59,999.91	29,999.95
		Costo de la alternativa				240,463.69
	2	Delineación	km-carril	11.050	3,000.11	33,151.16
		Señalamiento horizontal	km-carretera	1.374	18,000.00	24,732.01
		Señalamiento vertical	km-carretera	5.525	18,000.00	99,450.02
		Tiras de estruendo	km	0.228	12,000.11	2,736.02
		Ampliar carril	km-carril	1.000	23,999.90	23,999.90
		Ampliar acotamiento	km-carretera	0.500	59,999.91	29,999.95
		Paso a desnivel	intersección	1.000	4,500,000.06	4,500,000.06
		Carril de giro no señalizado	intersección	8.000	37,499.90	299,999.23
		Costo de la alternativa				5,014,068.36
10	1	Delineación	km-carril	2.082	3,000.11	6,246.22
		Carril de aceleración	km	0.300	239,999.95	71,999.98
		Carril de deceleración	km	0.330	239,999.95	79,199.98
		Estudio estructural de puente ferroviario	intersección	1.000	41,999.91	41,999.91
		Señalamiento horizontal	km-carretera	0.941	18,000.00	16,938.00
		Señalamiento vertical	km-carretera	1.041	18,000.00	18,738.00
		Tiras de estruendo	km	0.160	12,000.11	1,920.02
		Ampliar carril	km-carril	1.000	23,999.90	23,999.90
		Ampliar acotamiento	km-carretera	0.500	59,999.91	29,999.95
		Costo de la alternativa				291,041.97

## 5.2 Estimación de los beneficios

Primeramente, requerimos estimar el porcentaje de reducción en los accidentes y sus saldos, de acuerdo con los tratamientos para aumentar la seguridad vial propuestos en cada alternativa de mejoramiento. Para ello nos basamos en los Factores de Reducción de Accidentes (FRA) ó bien a partir de los Factores de Modificación de Accidentes (FMA). En caso de que no exista un FRA o FMA para evaluar la reducción debida a un determinado tratamiento para aumentar la seguridad vial, un valor estimado para estos puede ser seleccionado usando el juicio ingenieril.

En este trabajo utilizamos los FRA en la tabla 5.2, para los tratamientos específicos involucrados en las alternativas de mejoramiento en la Tabla 5.1 (*Road Safety Toolkit*, 2010 y Elvik, R., & Vaa, T., 2004).

**TABLA 5.2 FRA correspondientes a los tratamientos considerados en las alternativas de mejoramiento**

TRATAMIENTOS CONSIDERADOS EN LAS ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO	FRA (%)
Señalamiento horizontal	1.0
Señalamiento vertical	1.0
Barrera New Jersey	5.0
Barrera metálica triple onda izquierda	1.0
Barrera metálica triple onda derecha	1.0
Tiras de estruendo	1.0
Ampliar carril	0.5
Ampliar acotamiento	1.0
Ampliar puente	1.0
Rejillas captadoras de agua en la barrera central	1.0
Mejoramiento del trazo de la curva	45.0
Estabilización de taludes	1.0
Construcción de distribuidor vial	90.0
Carril de aceleración	1.0
Carril de deceleración	1.0
Rehabilitar pavimento	1.0
Delineación	1.0

Una vez que contamos con los FRA para los tratamientos involucrados en las alternativas, procedemos a estimar el Porcentaje de Víctimas Evitadas (PVE) con la implementación de cada alternativa, víctimas son tanto muertos como heridos. Para una alternativa en particular, lo realizamos mediante la siguiente expresión:

$$PVE = \left[ 1 - \prod_{i=1}^n \left( \frac{100 - FRA_i}{100} \right) \right] * 100 \quad \text{Ec. 5.1}$$

donde:  $FRA_i$  = Factor de reducción de accidentes del tratamiento  $i$ ,

para  $i = 1, 2, \dots$  hasta  $n$ , donde  $n$  = número de tratamientos incluidos en la alternativa.

Como resultado de aplicar la Ec. 5.1 a cada alternativa, obtenemos los valores de PVE en la tabla 5.3 para las alternativas de todos los segmentos estudiados

(columna 3). Las columnas 6 y 7 presentan el número de lesionados y muertos evitados respectivamente, obtenidos de aplicar los PVE a los valores correspondientes contabilizados para 2009 en el capítulo 3 (Tabla 3.1) en las columnas 4 y 5.

Una vez que contamos con la información del número de lesionados y muertos evitados en el año base, procedemos a convertirlos en valores monetarios. Los beneficios anuales de implementar una alternativa de mejoramiento pueden ser calculados multiplicando la reducción predicha por su respectivo costo social. Para los fines de este trabajo, utilizamos costos unitarios promedio por lesionado y muerto, de 100 mil y 400 mil dólares americanos respectivamente (Rivera, C., & Mendoza, A., 2009). La columna 8 de la tabla 5.3 muestra el valor monetario de los beneficios así obtenidos, en el primer año de operación para cada alternativa de cada segmento.

Es necesario recordar que el valor estimado de los beneficios debe ser convertido finalmente a valor presente neto.

**TABLA 5.3 PVE y víctimas evitadas para las alternativas de los segmentos estudiados.**

SEGMENTO	ALTERNATIVA	PORCENTAJE DE VÍCTIMAS EVITADAS (PVE)	# LESIONADOS	# MUERTOS	# LESIONADOS EVITADOS	# MUERTOS EVITADOS	BENEFICIOS EN EL PRIMER AÑO DE OPERACIÓN (US\$)
1	1	11.01	8	0	0.9	0.0	95,355
2	1	8.19	13	0	1.1	0.0	116,545
	2	49.50	13	0	6.4	0.0	678,080
3	1	6.32	18	0	1.1	0.0	116,545
4	1	7.26	18	0	1.3	0.0	137,735
	2	48.99	18	0	8.8	0.0	932,360
5	1	5.38	20	1	1.1	0.1	158,925
	2	90.54	20	1	18.1	0.9	2,299,115
6	1	7.26	16	1	1.2	0.1	169,520
	2	90.54	16	1	14.5	0.9	1,917,695
7	1	8.19	27	1	2.2	0.1	275,470
8	1	7.26	3	0	0.2	0.0	21,190
9	1	8.19	13	1	1.1	0.1	158,925
	2	90.54	13	1	11.8	0.9	1,631,630
10	1	7.26	8	0	0.6	0.0	63,570

## 5.3 Métodos de evaluación económica

Los tres métodos más usados, que son los que emplearemos en nuestro caso para la evaluación de las alternativas, son: el Valor Presente Neto (VPN), la Relación Beneficio-Costo (B/C) y la Tasa Interna de Retorno (TIR); los cuales evalúan la efectividad y factibilidad económica de proyectos carreteros individuales. En nuestro caso, la evaluación de alternativas servirá para identificar la alternativa económicamente más eficiente para cada segmento, o la siguiente -o siguientes- que por sus efectos convendría implementar en caso de existir restricciones presupuestales.

El VPN expresa la diferencia entre costos y beneficios “discontinuos” de una alternativa de mejoramiento en una única cantidad, el término discontinuo nos indica que los valores monetarios de los costos y beneficios son convertidos al VPN usando una tasa de discontinuidad.

El VPN es un método usado para dos funciones básicamente:

- Determinar cuál alternativa de mejoramiento o conjunto de estas, provee el medio con mayor índice de efectividad en reducir los accidentes.
- Evaluar si una alternativa de mejoramiento individual es económicamente justificada. Una alternativa con VPN mayor que cero indica que tiene beneficios que son suficientes para justificar la implementación de la alternativa de mejoramiento.

La relación B/C es la relación entre el valor presente de los beneficios de una alternativa de mejoramiento y los costos que generaría la implementación de la alternativa. Si la relación es mayor que 1, entonces la alternativa es considerada económicamente justificada. Las alternativas de mejoramiento son clasificadas de la que tiene la más alta a la más baja relación beneficio-costo.

La B/C es usada para determinar la alternativa de mejoramiento más valiosa para un segmento específico y para evaluar la justificación económica que tienen éstas.

La TIR, es la tasa que iguala el valor presente neto a cero, también es conocida como la tasa de rentabilidad producto de la reinversión de los flujos netos de efectivo dentro de la operación propia del negocio y se expresa en porcentaje. La evaluación de los proyectos de inversión cuando se hace con base en la Tasa Interna de Retorno, toman como referencia la tasa de descuento (TD). Si la Tasa Interna de Retorno es mayor que la tasa de descuento, el proyecto será aceptado pues estima un rendimiento mayor al mínimo requerido, siempre y cuando se reinviertan los flujos netos de efectivo. Por el contrario, si la Tasa Interna de Retorno es menor que la tasa de descuento, el proyecto será rechazado pues estima un rendimiento menor al mínimo requerido.

El cálculo de cualquiera de los indicadores anteriores (VPN, B/C y TIR) requiere de estimar costos y beneficios para cada uno de los años de un determinado horizonte de análisis. En nuestro caso, el horizonte de análisis seleccionado fue de 21 años (construyendo la mejora en el año inicial o 0 y asumiendo 20 años de operación de la misma), el cual es considerado una vida útil promedio para el tipo de mejoras involucradas en las alternativas.

También requerimos considerar una tasa media de crecimiento del tránsito (TMCT). Para este trabajo, determinamos una TMCT de 5.95%, con base en el análisis del crecimiento del flujo vehicular en el tramo en los últimos cinco años. La determinación del valor anterior se detalla en el Anexo B.

Como ya mencionamos, la evaluación económica también requiere de asumir un valor para la tasa de descuento (TD). En este trabajo asumimos para la TD un valor de 10%, el cual es un valor típico requerido por los bancos de desarrollo (Banco Mundial, Banco Interamericano de Desarrollo) para la gestión de créditos ante ellos.

La tabla 5.4 muestra la determinación de los tres indicadores de factibilidad económica para la alternativa 1, del segmento 1. La columna tres (“Costos No Descontados”) presenta, en el año 0 del horizonte de análisis, el costo inicial de la alternativa según se reportó en la tabla 5.1. Del año 1 al 20, esta columna incluye un costo de mantenimiento igual al 1.5% del costo inicial, para reponer el desgaste que genera el tránsito vehicular en la nueva infraestructura implementada; por esta razón, este costo crece anualmente a la TMCT (5.95%). La cuarta columna muestra los costos descontados, a la TD del 10%, para cada uno de los costos anuales en la columna 3. En el último renglón de la columna cuatro, presentamos la suma total de los costos descontados. Las columnas 5 y 6 presentan, para el año 0, los lesionados y muertos evitados respectivamente; y, para los demás años, los valores correspondientes obtenidos de aplicar la TMCT. La columna 7 (“Beneficios No Descontados”) presenta, en el año 1 del horizonte de análisis, el beneficio económico en el primero año de operación de la alternativa, según se reportó en la Tabla 5.3. En años subsiguientes, el beneficio crece de acuerdo con la TMCT (5.95%). La octava columna muestra los beneficios descontados, a la TD del 10%, para cada uno de los beneficios anuales en la columna 7. En el último renglón de la columna siete, aparece la suma total de los beneficios descontados. La novena columna presenta, para cada año del horizonte de análisis, la diferencia del beneficio descontado menos el costo descontado.

Finalmente, debajo de la tabla presentamos la relación B/C (suma total de los beneficios descontados/ la suma total de los costos descontados), el VPN (suma total de los beneficios descontados - la suma total de los costos descontados) y la TIR. Cabe señalar que la alternativa 1 del segmento 1 resulta muy factible, como suelen ser las obras de mejoramiento de la seguridad vial, al obtenerse para ella una relación B/C de 4.48, un VPN de alrededor de 1 millón de dólares y una TIR de 32.28 (más de tres veces el valor de la TD).

**TABLA 5.4 Determinación de los tres indicadores de factibilidad económica (B/C, VPN y TIR) para la alternativa 1, del segmento 1.**

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA LA ALTERNATIVA: 1-1

TMCT (ESC. TENDENCIAL) 5.95 %

TD 10 %

COSTO UNITARIO PROMEDIO POR LESIONADO US\$ 100,000.00

COSTO UNITARIO PROMEDIO POR MUERTO US\$ 400,000.00

AÑO	HORIZONTE	COSTOS NO DESCONTADOS	COSTOS DESCONTADOS	LESIONADOS EVITADOS	MUERTOS EVITADOS	BENEFICIOS NO DESCONTADOS	BENEFICIOS DESCONTADOS	FLUJO NETO
2010	0	231,837.42	231,837.42	0.90	0.00			-231,837.42
2011	1	3,477.56	3,161.42	0.95	0.00	95,355.00	86,686.36	83,524.94
2012	2	3,684.48	3,045.02	1.01	0.00	101,028.62	83,494.73	80,449.71
2013	3	3,903.70	2,932.91	1.07	0.00	107,039.83	80,420.61	77,487.70
2014	4	4,135.97	2,824.93	1.13	0.00	113,408.70	77,459.66	74,634.74
2015	5	4,382.06	2,720.92	1.20	0.00	120,156.51	74,607.74	71,886.82
2016	6	4,642.80	2,620.74	1.27	0.00	127,305.83	71,860.82	69,240.08
2017	7	4,919.04	2,524.25	1.35	0.00	134,880.52	69,215.03	66,690.79
2018	8	5,211.73	2,431.31	1.43	0.00	142,905.91	66,666.66	64,235.35
2019	9	5,521.82	2,341.79	1.51	0.00	151,408.81	64,212.12	61,870.33
2020	10	5,850.37	2,255.57	1.60	0.00	160,417.64	61,847.94	59,592.37
2021	11	6,198.47	2,172.53	1.70	0.00	169,962.49	59,570.82	57,398.29
2022	12	6,567.28	2,092.54	1.80	0.00	180,075.26	57,377.53	55,284.99
2023	13	6,958.03	2,015.49	1.91	0.00	190,789.73	55,264.99	53,249.50
2024	14	7,372.03	1,941.29	2.02	0.00	202,141.72	53,230.23	51,288.95
2025	15	7,810.67	1,869.81	2.14	0.00	214,169.16	51,270.39	49,400.58
2026	16	8,275.40	1,800.97	2.27	0.00	226,912.22	49,382.71	47,581.74
2027	17	8,767.79	1,734.66	2.40	0.00	240,413.50	47,564.53	45,829.87
2028	18	9,289.47	1,670.79	2.55	0.00	254,718.10	45,813.29	44,142.50
2029	19	9,842.20	1,609.28	2.70	0.00	269,873.83	44,126.53	42,517.25
2030	20	10,427.81	1,550.03	2.86	0.00	285,931.32	42,501.87	40,951.84
			277,153.66				1,242,574.57	

REL. B/C 4.48  
 VPN 965,420.91  
 TIR 32.28%

En el Anexo C presentamos la hoja de Excel, conteniendo el análisis de factibilidad económica para las alternativas de todos los segmentos.

La tabla 5.5 resume los resultados del análisis de factibilidad realizado para las alternativas de todos los segmentos.

**TABLA 5.5 Resultados del análisis de factibilidad para las alternativas de todos los segmentos.**

SEGMENTO	ALTERNATIVA	COSTO TOTAL (US\$)	# LESIONADOS EVITADOS	# MUERTOS EVITADOS	BENEFICIOS EN EL PRIMER AÑO DE OPERACIÓN (US\$)	REL B/C	VPN (US\$)	TIR
1	1	231,837.42	0.9	0.0	95,355.00	4.48	965,420.91	32.28%
2	1	300,521.08	1.1	0.0	116,545.00	4.23	1,159,439.64	30.13%
	2	364,601.15	6.4	0.0	678,080.00	20.27	8,400,217.68	164.03%
3	1	89,892.02	1.1	0.0	116,545.00	14.13	1,411,239.43	112.82%
4	1	103,531.04	1.3	0.0	137,735.00	14.50	1,671,062.13	115.90%
	2	199,531.15	8.8	0.0	932,360.00	50.93	11,911,085.36	419.75%
5	1	79,434.12	1.1	0.1	158,925.00	21.81	1,975,996.85	176.84%
	2	4,649,526.31	18.1	0.9	2,299,115.00	5.39	24,401,504.85	39.88%
6	1	135,844.55	1.2	0.1	169,520.00	13.60	2,046,623.97	108.40%
	2	4,709,637.10	14.5	0.9	1,917,695.00	4.44	19,359,346.21	31.91%
7	1	359,164.70	2.2	0.1	275,470.00	8.36	3,160,290.82	64.68%
8	1	144,201.04	0.2	0.0	21,190.00	1.60	103,740.30	6.79%
9	1	240,463.69	1.1	0.1	158,925.00	7.20	1,783,491.55	55.03%
	2	5,014,068.36	11.8	0.9	1,631,630.00	3.55	15,267,685.42	24.37%
10	1	291,041.97	0.6	0.0	63,570.00	2.38	480,452.39	14.20%

Los valores relativamente elevados obtenidos para los tres indicadores de factibilidad económica considerados reiteran la elevada rentabilidad económica y social de las acciones de mejoramiento de la seguridad vial.

Los resultados en la tabla 5.5 para los segmentos con dos alternativas, indican que las alternativas de mayor inversión, también resultan ser las más eficientes (con indicadores de factibilidad, como el VPN, más elevados).

## 5.4 Priorización de mejoras

Antes de realizar la priorización de mejoras, hemos identificado una o más alternativas de mejoramiento para su posible implementación en cada segmento, y una evaluación económica ha sido realizada para cada alternativa de mejoramiento. Cada alternativa de mejoramiento determinada como económicamente justificable para cada segmento, fue incluida en la priorización de mejoras.

En el MSV, el término “priorización” se refiere a una revisión de las posibles alternativas de mejoramiento, seleccionadas con base en los resultados de procesos de clasificación y optimización. La clasificación se refiere a una lista ordenada de las alternativas de mejoramiento, según su justificación económica de cada una de estas, basadas en factores específicos de los beneficios y costos de cada una de ellas. El MSV menciona tres métodos de priorización: (I) Clasificación según medidas económicas de efectividad, (II) Clasificación según análisis por incremento del beneficio/costo, (III) Método de optimización. El tercero permite considerar restricciones presupuestales y otras limitaciones, razón por la cual será utilizado para los fines de este trabajo.

Usamos la optimización para describir el proceso por el cual un conjunto de alternativas de mejoramiento son seleccionadas para maximizar los beneficios de acuerdo al presupuesto y otras limitaciones. La solución por este método se obtiene mediante el planteamiento del siguiente problema de programación lineal (Watanatada, T. et. al., 1987):

$$MaxVPNT = \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^{M_k} VPN_{km} X_{km} \quad \text{Ec. 5.2}$$

sujeto a:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^{M_k} C_{km0} X_{km} \leq RT_0 \quad \text{Ec. 5.3}$$

$$\sum_{m=1}^{M_k} X_{km} \leq 1, \quad k=1, \dots, K \quad \text{Ec. 5.4}$$

$$X_{km} \in \{0,1\} \quad \text{Ec. 5.5}$$

donde:

VPNT = Valor Presente Neto Total para todos los segmentos

para una solución determinada;

$VPN_{km}$  = Valor Presente Neto para la alternativa m del

segmento k;

K = Número total de segmentos;

$M_k$  = Número total de alternativas para el segmento k;

$X_{km}$  = Variable binaria igual a 1 si la alternativa m del segmento k es elegida, y 0 de lo contrario;

$C_{km0}$  = Costo inicial no descontado para la alternativa m del segmento k; y

$RT_0$  = Recurso presupuestal total inicial (en el año 0).

La tabla 5.6 muestra -en las columnas 2, 3 y 4- la solución óptima obtenida mediante el programa lineal anterior, considerando que no hay restricción presupuestal inicial; o sea que existe un 100% del presupuesto para realizar la alternativa más eficiente, y también más costosa, para todos los segmentos. Cabe señalar que ese 100% corresponde a un monto máximo requerido de US\$ 16'053,501.22. También destacamos que para cada porcentaje presupuestal, para las alternativas seleccionadas en la columna 5 presentamos un número que las prioriza por orden decreciente de su VPN.

Además, aparecen las soluciones priorizadas para montos presupuestales del 80%, 60%, 40%, 20% y 12.3% del monto máximo requerido (US\$ 16'053,501.22).

**TABLA 5.6 Solución óptima para cada segmento y priorización de alternativas de acuerdo con un presupuesto Inicial del 100%, 80%, 60%, 40%, 20% y 12.3%.**

PRESUPUESTO INICIAL (US\$)	SEGMENTO	ALTERNATIVA	VPN (US\$)	PRIORIDAD	COSTO TOTAL (US\$)
16,053,501.22 100%	1	1	965,420.91	8	16,053,501.22
	2	2	8,400,217.68	5	
	3	1	1,411,239.43	7	
	4	2	11,911,085.36	4	
	5	2	24,401,504.85	1	
	6	2	19,359,346.21	2	
	7	1	3,160,290.82	6	
	8	1	103,740.30	10	
	9	2	15,267,685.42	3	
	10	1	480,452.39	9	
12,842,800.98 80%	1	1	965,420.91	8	11,279,896.55
	2	2	8,400,217.68	4	
	3	1	1,411,239.43	7	
	4	2	11,911,085.36	3	
	5	2	24,401,504.85	1	
	6	2	19,359,346.21	2	
	7	1	3,160,290.82	5	
	8	1	103,740.30	10	
	9	1	1,783,491.55	6	
	10	1	480,452.39	9	
9,632,100.73 60%	1	1	965,420.91	8	6,706,104.00
	2	2	8,400,217.68	3	
	3	1	1,411,239.43	7	
	4	2	11,911,085.36	2	
	5	2	24,401,504.85	1	
	6	1	2,046,623.97	5	
	7	1	3,160,290.82	4	
	8	1	103,740.30	10	
	9	1	1,783,491.55	6	

	10	1	480,452.39	9	
6,421,400.49 40%	1	1	965,420.91	8	2,136,011.81
	2	2	8,400,217.68	2	
	3	1	1,411,239.43	7	
	4	2	11,911,085.36	1	
	5	1	1,975,996.85	5	
	6	1	2,046,623.97	4	
	7	1	3,160,290.82	3	
	8	1	103,740.30	10	
	9	1	1,783,491.55	6	
	10	1	480,452.39	9	
3,210,700.24 20%	1	1	965,420.91	8	2,136,011.81
	2	2	8,400,217.68	2	
	3	1	1,411,239.43	7	
	4	2	11,911,085.36	1	
	5	1	1,975,996.85	5	
	6	1	2,046,623.97	4	
	7	1	3,160,290.82	3	
	8	1	103,740.30	10	
	9	1	1,783,491.55	6	
	10	1	480,452.39	9	
1,975,931.63 12.3%	1	1	965,420.91	8	1,975,931.63
	2	1	1,159,439.64	7	
	3	1	1,411,239.43	6	
	4	1	1,671,062.13	5	
	5	1	1,975,996.85	3	
	6	1	2,046,623.97	2	
	7	1	3,160,290.82	1	
	8	1	103,740.30	10	
	9	1	1,783,491.55	4	
	10	1	480,452.39	9	

En la tabla 5.6, es evidente que el porcentaje presupuestal del 100% favorece la selección de alternativas de mayor costo e impacto; en tanto que la solución de mínimo presupuesto (12.3%) involucra las alternativas de menor costo para todos los segmentos.

Cabe destacar que independientemente del porcentaje presupuestal consignado, para obtener más rápidamente el retorno sobre la inversión correspondiente, el mejoramiento de los segmentos será realizado de acuerdo con su prioridad (primero el de prioridad 1, después el de prioridad 2 y así sucesivamente).

De acuerdo con la solución óptima para cada segmento, como vemos en la tabla 5.6, la manera más eficiente de utilizar el presupuesto otorgado es generar el mayor número posible de selección de la alternativa más costosa en las soluciones de los segmentos, ya que estas presentan un VPN más elevado; es decir, esto nos indica que si las alternativas menos costosas son buenas, las de mayor costo son aún mejores.

Respecto a la priorización, podemos observar que en todos los casos, ya sea con o sin restricción presupuestaria, las que se encuentran en los primeros lugares de prioridad dentro de cada presupuesto, corresponde con las alternativas de mayor inversión para cada segmento; es decir, esto nos demuestra que a pesar de su costo, su prioridad para ser implementada es mayor, ya que nos proporciona un mayor VPN.

## 6 Conclusiones y recomendaciones

---

En este trabajo hemos presentado el estudio del tramo carretero Ciudad Mendoza-Córdoba, específicamente con base en la selección de diez segmentos de 500 metros; éstos fueron seleccionados de acuerdo a su alto grado de peligrosidad y por contar con un alto NAE. A dichos segmentos les propusimos alternativas de mejoramiento para lograr una reducción en la frecuencia y severidad de los accidentes, y hacer de estos segmentos, lugares con una mejor seguridad vial; lo que conlleve a que el recorrido del usuario por este tramo carretero sea más seguro y confortable. Además, realizamos el análisis de la inspección de campo, así como de los reportes de accidentes, se efectuó el diagnóstico de los segmentos, la propuesta de alternativas de mejoramiento y posteriormente se llevó a cabo la evaluación y priorización de éstas.

Las conclusiones y recomendaciones más relevantes a las que llegamos son:

- Dentro del análisis de accidentes, encontramos que en casi todos los segmentos existe un alto número de accidentes de los tipos de “salida del camino” y “choque por alcance”, a excepción de dos en donde se presenta uno u otro; los posibles factores de la vía que conllevan a que se produzcan este tipo de accidentes, por mencionar algunos, son: el exceso de velocidad, carriles estrechos, pobre distancia de visibilidad, pavimento resbaloso, entre otros. Lo anterior nos indica que es necesario realizar medidas de mejoramiento en el diseño geométrico, así como implementar elementos dirigidos a lograr la reducción de velocidad en el tramo de estudio, medidas que ya han sido establecidas dentro de las propuestas de las alternativas de mejoramiento.
- Cabe mencionar que los accidentes son consecuencias inevitables de la movilidad, y su severidad es el resultado de la energía cinética que disipa un vehículo al impactarse ya sea contra otro vehículo, contra un objeto o contra una persona; así que es posible tomar algunas medidas para minimizar las consecuencias del impacto, o para minimizar la probabilidad de que un vehículo se involucre en una situación de riesgo. Sin embargo, mientras exista la movilidad, es probablemente imposible erradicar los accidentes y sus consecuencias.
- Dentro de los factores que contribuyen a la causa de los accidentes, no sólo influyen los de la vía, sino que también es necesario -en estudios más detallados- tomar en cuenta el comportamiento del conductor, así como las características del vehículo.
- La infraestructura de seguridad vial tiene un potencial significativo para

complementar los esfuerzos que se están efectuando para mejorar la conducta de los usuarios de las vías, logrando con esto la disminución de la frecuencia y severidad de los accidentes que lleguen a ocurrir.

- Es mejor la prevención de accidentes que esperar a que estos sucedan y, para llevar a cabo la prevención, es indispensable la introducción de los principios de seguridad vial en el diseño, acondicionamiento y conservación de la carretera como medio para evitar los accidentes; aunque esto no conllevará a que el 100% de los accidentes sean eliminados, sí servirá para prevenir bastantes.
- Para poder planificar una política y un tratamiento de seguridad efectivos, requerimos datos confiables y precisos sobre los accidentes.
- La finalidad que pretendemos alcanzar con las alternativas de mejoramiento propuestas para cada segmento, es ayudar a reducir la frecuencia y severidad de los accidentes, para con esto lograr un nivel de seguridad mayor en la vía, lo que aumenta también la seguridad de los usuarios de estas. Además, cabe mencionar que independientemente del porcentaje presupuestal que se consiga, con el fin de obtener más rápidamente el retorno sobre la inversión correspondiente, en el mejoramiento de los segmentos se realizarán las alternativas de acuerdo con su prioridad, las que tienen el número 1 son las que cuentan con mayor prioridad.
- Los tratamientos propuestos para cada alternativa, pretenden hacer que el tramo carretero cuente con una mayor eficiencia.
- Los tratamientos como el realizar un distribuidor vial o el mejoramiento del trazo horizontal, cuentan con un mayor FRA; lo que nos conduce a que se eviten un mayor número de muertos y lesionados; a pesar de que éstos requieran de una mayor inversión inicial, no dejan de ser por ello los mejores tratamientos más eficientes a aplicar, entre otros, en el caso de que sean implementados a través de una alternativa de mejoramiento.
- En el resultado de la optimización, podemos comprobar que si existe un presupuesto adecuado para satisfacer todas las alternativas de mayor inversión e impacto, la selección de éstas es la que se efectúa, y en caso de que se cuente con un presupuesto menor, la optimización determina que ya no todas las alternativas de mayor inversión y con mayor VPN, aunque sean las mejores, pueden ser seleccionadas, pero el método sí trata de seleccionar el mayor número posible de estas, cumpliendo con el presupuesto con que se cuente.
- Recomendamos que una vez seleccionadas las alternativas de mejoramiento a implementar, verifiquen, una vez que se encuentren en operación, si están logrando tener una eficacia satisfactoria.

- A partir de la información recabada, pudimos desarrollar un programa de inversiones para la adecuación, mantenimiento y conservación de la infraestructura vial en el tramo Ciudad Mendoza-Córdoba del Corredor Pacífico. Dado que el análisis efectuado para el tramo aplicando la metodología del MSV es un análisis discreto por segmentos de 500 m, será necesario efectuar un análisis posterior, que queda fuera de los alcances de esta tesis, para determinar hasta donde tendrían que extenderse a ambos lados de dichos segmentos, algunas de las medidas dentro de la alternativa recomendada para cada uno de ellos (p. ej. la implementación de barrera metálica lateral en los segmentos en los que ésta es recomendada, podrá requerirse más allá de los extremos de dichos segmentos).
- Los valores relativamente elevados obtenidos para los tres indicadores de factibilidad económica considerados, en el programa de inversiones, reiteran la elevada rentabilidad económica y social de las acciones de mejoramiento de la seguridad vial.
- Los aspectos de la seguridad vial tienen que ser adecuadamente gestionados a fin de obtener resultados positivos en esta área.
- Por su impacto en la vida humana y en el bienestar social, las mejoras de la seguridad vial -como son las que se realizan en la infraestructura- resultan generalmente muy rentables (con altos valores de RBC, VPN y TIR). Además de que estas ayudan a solventar los problemas que ocasiona la inseguridad vial, los cuales disminuyen el desarrollo de las naciones, tanto por los costos médicos, urbanos y viales, como por la pobreza que genera a muchas familias debido a las incapacidades físicas que producen los accidentes.
- Finalmente, la experiencia de aplicación del MSV presentada en este trabajo indica que el MSV es una herramienta de gran utilidad, confiabilidad y aplicabilidad para el desarrollo de programas de mejoramiento de la seguridad vial de las carreteras mexicanas; no obstante, deja ciertas incertidumbres durante el proceso que se sigue hasta llegar al desarrollo del programa de inversiones que se pretende generar. Estas incertidumbres en general cuestiones que hasta este momento no se conocen con precisión (p. ej. el valor de los factores de reducción de accidentes para ciertas medidas específicas).
- Recomendamos, para todos los segmentos contar con un programa de mantenimiento periódico tanto de pintura (rayas delimitadoras de carriles, acotamientos, estructuras, rayas logarítmicas, etc.), como de deshierbe y podado de árboles para evitar que estos obstruyan la visibilidad de señalamientos y accesos a la tramo.
- Recomendamos conservar un buen señalamiento y dispositivos de seguridad para informar y proteger a los usuarios.

En la actualidad damos una mayor importancia a la seguridad vial, lo cual es muy bueno; ya que, por ejemplo, cuando se detectan deficiencias de seguridad vial en la infraestructura, el solo hecho de realizar una inversión para eliminar esas deficiencias, generará además de beneficios económicos y sociales, la satisfacción de salvar vidas y reducir el número de lesionados, y el valor de esta satisfacción no se compara con el monto de ninguna inversión.

Una alternativa efectiva para lograr una reducción significativa en la frecuencia de los accidentes es implementar, en toda el tramo de estudio, una vigilancia rigurosa por parte de las autoridades policíacas correspondientes; para que esto también ayude a que las velocidades a las que transitan los vehículos por este tramo sean las adecuadas.

## Bibliografía

---

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2010). *The Handbook of Highway Safety Manual* (1era ed.). U.S.A.: AASHTO.

*An Introduction to the Highway Safety Manual*. (2010). Consultado el 27 de agosto de 2010, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), página web: <http://www.highwaysafetymanual.org>

Association of Australian and New Zealand Road Transport and Traffic Authorities. (2002). *Road Safety Audit* (2da ed.). Sidney: Austroads.

Elvik, R., & Vaa, T. (2004). *The Handbook of Road Safety Measures*. (1era ed.). Noruega: ELSEVIER.

García, A., Mendoza, A., Centeno, A., Abarca, E., Villegas, N., y Soria, V. (2008). *Estudio y proyecto de atención a 10 puntos de conflicto en los Km. 263+260, Km. 264+800, Km. 265+550, Km. 265+800, Km. 267+500, Km. 267+800, Km. 268+600, Km. 272+000, Km. 291+750 y Km. 297+150 de la Autopista Ciudad Mendoza-Córdoba*. (Proyecto No. SE 07/07). Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte.

Krammes, R. (2009). *Overview of the New Highway Safety Manual*. Consultado el 25 de agosto de 2010, Federal Highway Administration, página web: <http://www.modot.org/tsc/2009Conference.html>

National Cooperative Highway Research Program. (1993). *Recommended Procedures for Safety Performance Evaluation of Highway Features* (Report No. 350). Washington: Transportation Research Board.

Peña, J. (2006). *Sistemas de Información Geográfica aplicados a la gestión del territorio* (1ra ed.). España: Club Universitario.

Rivera, C., & Mendoza, A. (2009). *Análisis Costo-Beneficio y Costo-Efectividad de las Medidas de Seguridad Implementadas en Carreteras Mexicanas*. (Publicación Técnica No. 319). Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte.

*Road Safety Toolkit*. (2010). Consultado el 28 de agosto de 2010, International Road Assessment Programme (IRAP), página web: <http://toolkit.irap.org/>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (1984). *Normas de Servicios Técnicos. Parte 2.01. Proyecto Geométrico*. México: SCT.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (1986). *Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras*. (5a ed.). México: SCT.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (1991). *Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras* (4ta Reimpresión). México: SCT.

Watanatada, T. et. al. (1987). *The Highway Design and Maintenance Standards Model, Volumen 1 Description of the HDM-III Model*. (1era ed.). Washington: A World Bank publication.

## **Anexo A**

---

# **CARACTERÍSTICAS DE PROYECTO Y OPERACIÓN DEL TRAMO CARRETERO CD. MENDOZA-CÓRDOBA**

**TABLA A.1: Características de proyecto y operación del tramo Cd. Mendoza-Córdoba utilizadas en el MSV para la predicción de la variación de accidentes (carretera rural multicarril).**

Identificador	Segmento		Características de Proyecto													
			Cuerpo	Longitud del segmento	Ancho de carril				Número de carriles	Tipo de faja central*	Barrera central de concreto	Ancho de faja central		Número de accesos en la faja central	Número de accesos	
	km	km			m	m	ft	m				ft	m		ft	Núm/km
1	257+000	258+000	A	1000	3.5	11.48	3.6	11.81	2	1	no	1	3.28	0	0	0
2	258+000	259+000	A	1000	3.5	11.48	3.6	11.81	2	1	no	1	3.28	0	0	0
3	259+000	260+000	A	1000	3.5	11.48	3.6	11.81	2	1	no	1	3.28	0	0	0
4	260+000	261+000	A	1000	3.5	11.48	3.6	11.81	2	1	no	1	3.28	0	1	1
5	261+000	262+000	A	1000	3.5	11.48	3.6	11.81	2	1	no	1	3.28	0	0	0
6	262+000	263+000	A	1000	3.5	11.48	3.6	11.81	2	3	si	0	0.00	0	1	1
7	263+000	264+000	A	1000	3.5	11.48	3.6	11.81	2	3	sí	0	0.00	0	1	1
8	264+000	264+400	A	400	3.5	11.48	3.6	11.81	2	3	sí	0	0.00	0	0	0
9	264+400	265+000	A	600	3.5	11.48	3.5	11.32	2	3	sí	0	0.00	0	0	0
10	265+000	265+300	A	300	3.6	11.65	3.5	11.32	2	3	sí	0	0.00	0	0	0
11	265+300	266+000	A	700	3.5	11.48	3.5	11.48	2	3	sí	0	0.00	0	0	0
12	266+000	267+000	A	1000	3.5	11.48	3.5	11.48	2	3	sí	0	0.00	0	0	0
13	267+000	267+600	A	600	3.5	11.48	3.6	11.81	2	3	sí	0	0.00	0	0	0
14	267+600	267+900	A	300	3.4	11.15	3.6	11.81	2	3	sí	0	0.00	0	0	0
15	267+900	268+100	A	200	3.4	11.15	3.6	11.81	2	1	no	no aplica	no aplica	1	1	1
16	268+100	268+200	A	100	3.6	11.81	3.4	11.15	2	1	no	5	16.40	0	0	0
17	268+200	269+000	A	800	3.6	11.81	3.4	11.15	2	1	no	4	13.12	0	0	0
18	269+000	270+000	A	1000	3.5	11.48	3.5	11.48	2	1	no	4	13.12	0	0	0
19	270+000	271+000	A	1000	3.6	11.81	3.4	11.15	2	1	no	4	13.12	0	0	0
20	271+000	272+000	A	1000	3.5	11.48	3.5	11.48	2	1	no	4	13.12	0	0	0
21	272+000	273+000	A	1000	3.5	11.48	3.5	11.48	2	1	no	4.5	14.76	0	0	0
22	273+000	274+000	A	1000	3.6	11.81	3.6	11.81	2	1	no	4.2	13.78	0	0	0

\*Tipo de faja central: 0, si no hay faja separadora central; 1, si hay faja separadora central y solo está pintada; 2, si hay faja separadora central y cuenta con bordillo; 3, otros.

**TABLA A.1: Características de proyecto y operación del tramo Cd. Mendoza-Córdoba utilizadas en el MSV para la predicción de la variación de accidentes (carretera rural multicarril) (Continuación).**

Identificador	Segmento		Características de Proyecto													
			Cuerpo	Longitud del segmento	Ancho de carril Izquierdo Derecho				Número de carriles	Tipo de faja central*	Barrera central de concreto	Ancho de faja central		Número de accesos en la faja central	Número de accesos	
	km	km			m	m	ft	m				ft	m		ft	Núm/km
23	274+000	275+000	A	1000	3.6	11.81	3.6	11.81	2	1	no	4	13.12	0	0	0
24	275+000	276+000	A	1000	3.5	11.48	3.5	11.48	2	1	no	3.5	11.48	0	0	0
25	276+000	276+850	A	850	3.5	11.48	3.5	11.48	2	3	sí	0	0.00	0	1	1
26	276+850	277+000	A	150	3.5	11.48	3.5	11.48	2	1	no	2.5	8.20	0	0	0
27	277+000	278+000	A	1000	3.6	11.81	3.4	11.15	2	1	no	4.2	13.78	0	0	0
28	278+000	279+000	A	1000	3.5	11.48	3.6	11.81	2	1	no	4.5	14.76	0	0	0
29	279+000	280+000	A	1000	3.5	11.48	3.5	11.48	2	1	no	5	16.40	0	0	0
30	280+000	281+000	A	1000	3.5	11.48	3.5	11.48	2	1	no	4.5	14.76	0	0	0
31	281+000	282+000	A	1000	3.5	11.48	3.5	11.48	2	1	no	4.5	14.76	0	0	0
32	282+000	283+000	A	1000	3.5	11.48	3.5	11.48	2	1	no	5	16.40	0	0	0
33	283+000	284+000	A	1000	3.5	11.48	3.5	11.48	2	1	no	4	13.12	0	0	0
34	284+000	284+400	A	400	3.5	11.48	3.5	11.48	2	1	no	2	6.56	0	1	1
35	284+400	285+000	A	600	3.5	11.48	3.5	11.48	2	3	sí	0	0.00	0	0	0
36	285+000	286+000	A	1000	3.5	11.48	3.5	11.48	2	1	no	2	6.56	0	0	0
37	286+000	286+100	A	100	3.5	11.48	3.5	11.48	2	1	no	4	13.12	0	0	0
38	286+100	287+000	A	900	3.5	11.48	3.5	11.48	2	1	no	4	13.12	0	0	0
39	287+000	288+000	A	1000	3.5	11.48	3.5	11.48	2	1	no	4.2	13.78	0	0	0
40	288+000	289+000	A	1000	3.5	11.48	3.5	11.48	2	1	no	4	13.12	0	0	0
41	289+000	290+000	A	1000	3.5	11.48	3.5	11.48	2	1	no	4	13.12	0	1	1
42	290+000	291+000	A	1000	3.5	11.48	3.5	11.48	2	1	no	4	13.12	0	0	0
43	291+000	292+000	A	1000	3.2	10.50	3.2	10.50	2	3	no	3	9.84	0	1	1

\*Tipo de faja central: 0, si no hay faja separadora central; 1, si hay faja separadora central y solo está pintada; 2, si hay faja separadora central y cuenta con bordillo; 3, otros.

**TABLA A.1: Características de proyecto y operación del tramo Cd. Mendoza-Córdoba utilizadas en el MSV para la predicción de la variación de accidentes (carretera rural multicarril) (Continuación).**

Identificador	Segmento		Características de Proyecto													
			Cuerpo	Longitud del segmento	Ancho de carril Izquierdo Derecho				Número de carriles	Tipo de faja central*	Barrera central de concreto	Ancho de faja central		Número de accesos en la faja central	Número de accesos	
	km	km			m	m	ft	m				ft	m		ft	Núm/km
44	292+000	293+000	A	1000	3.5	11.48	3.5	11.48	2	2	no	3.6	11.81	0	0	0
45	293+000	294+000	A	1000	3.5	11.48	3.5	11.48	2	2	no	3	9.84	0	0	0
46	294+000	295+000	A	1000	3.5	11.48	3.5	11.48	2	2	no	2.5	8.20	0	0	0
47	295+000	296+000	A	1000	3.5	11.48	3.5	11.48	2	2	no	2.5	8.20	0	0	0
48	296+000	297+000	A	1000	3.5	11.48	3.5	11.48	2	2	no	3	9.84	0	0	0
49	257+000	258+000	B	1000	3.6	11.81	3.5	11.48	2	1	no	1	3.28	0	1	1
50	258+000	259+000	B	1000	3.6	11.81	3.5	11.48	2	1	no	1	3.28	0	0	0
51	259+000	260+000	B	1000	3.6	11.81	3.5	11.48	2	1	no	1	3.28	0	0	0
52	260+000	261+000	B	1000	3.6	11.81	3.5	11.48	2	1	no	1	3.28	0	0	0
53	261+000	261+900	B	900	3.6	11.81	3.5	11.48	2	1	no	1	3.28	0	0	0
54	261+900	262+000	B	100	3.6	11.81	3.5	11.48	2	1	no	3	9.84	0	0	0
55	262+000	263+000	B	1000	3.6	11.81	3.5	11.48	2	3	sí	0	0.00	0	0	0
56	263+000	264+000	B	1000	3.6	11.81	3.5	11.48	2	3	sí	0	0.00	0	0	0
57	264+000	264+400	B	400	3.6	11.81	3.5	11.48	2	3	sí	0	0.00	0	0	0
58	264+400	265+000	B	600	3.6	11.81	3.5	11.48	2	3	sí	0	0.00	0	0	0
59	265+000	265+300	B	300	3.6	11.81	3.5	11.48	2	3	sí	0	0.00	0	0	0
60	265+300	266+000	B	700	3.6	11.81	3.5	11.48	2	3	sí	0	0.00	0	0	0
61	266+000	267+000	B	1000	3.6	11.81	3.3	10.83	2	3	sí	0	0.00	0	0	0
62	267+000	267+600	B	600	3.6	11.81	3.1	10.17	2	3	sí	0	0.00	0	0	0
63	267+600	267+900	B	300	3.6	11.81	3.1	10.17	2	3	sí	0	0.00	0	0	0
64	267+900	268+100	B	200	3.7	11.98	3.1	10.17	2	1	no	no aplica	no aplica	1	1	1

\*Tipo de faja central: 0, si no hay faja separadora central; 1, si hay faja separadora central y solo está pintada; 2, si hay faja separadora central y cuenta con bordillo; 3, otros.

**TABLA A.1: Características de proyecto y operación del tramo Cd. Mendoza-Córdoba utilizadas en el MSV para la predicción de la variación de accidentes (carretera rural multicarril) (Continuación).**

Identificador	Segmento		Características de Proyecto													
			Cuerpo	Longitud del segmento	Ancho de carril Izquierdo Derecho				Número de carriles	Tipo de faja central*	Barrera central de concreto	Ancho de faja central		Número de accesos en la faja central	Número de accesos	
	km	km			m	m	ft	m				ft	m		ft	Núm/km
65	268+100	268+200	B	100	3.7	11.98	3.5	11.48	2	1	no	5	16.40	0	1	1
66	268+200	269+000	B	800	3.7	11.98	3.7	11.98	2	1	no	4	13.12	0	0	0
67	269+000	270+000	B	1000	3.6	11.81	3.5	11.48	2	1	no	4	13.12	0	0	0
68	270+000	271+000	B	1000	3.6	11.81	3.5	11.48	2	1	no	4	13.12	0	1	1
69	271+000	272+000	B	1000	3.6	11.81	3.6	11.81	2	1	no	4	13.12	0	0	0
70	272+000	273+000	B	1000	3.6	11.81	3.6	11.81	2	1	no	4.5	14.76	0	1	1
71	273+000	274+000	B	1000	3.6	11.81	3.6	11.81	2	1	no	4.2	13.78	0	0	0
72	274+000	275+000	B	1000	3.6	11.81	3.6	11.81	2	1	no	4	13.12	0	0	0
73	275+000	276+000	B	1000	3.6	11.81	3.6	11.81	2	1	no	3.5	11.48	0	0	0
74	276+000	276+850	B	850	3.6	11.81	3.6	11.81	2	3	sí	0	0.00	0	1	1
75	276+850	277+000	B	150	3.6	11.81	3.6	11.81	2	1	no	2.5	8.20	0	0	0
76	277+000	278+000	B	1000	3.6	11.81	3.6	11.81	2	1	no	4.2	13.78	0	0	0
77	278+000	279+000	B	1000	3.6	11.81	3.6	11.81	2	1	no	4.5	14.76	0	0	0
78	279+000	280+000	B	1000	3.6	11.81	3.6	11.81	2	1	no	5	16.40	0	0	0
79	280+000	281+000	B	1000	3.6	11.81	3.6	11.81	2	1	no	4.5	14.76	0	1	1
80	281+000	282+000	B	1000	3.6	11.81	3.6	11.81	2	1	no	4.5	14.76	0	1	1
81	282+000	283+000	B	1000	3.6	11.81	3.6	11.81	2	1	no	5	16.40	0	0	0
82	283+000	284+000	B	1000	3.7	12.14	3.6	11.81	2	1	no	4	13.12	0	1	1
83	284+000	284+400	B	400	3.7	12.14	3.6	11.81	2	1	no	2	6.56	0	0	0
84	284+400	285+000	B	600	3.7	12.14	3.6	11.81	2	3	sí	0	0.00	0	0	0
85	285+000	286+000	B	1000	3.7	12.14	3.6	11.81	2	1	no	2	6.56	0	0	0

\*Tipo de faja central: 0, si no hay faja separadora central; 1, si hay faja separadora central y solo está pintada; 2, si hay faja separadora central y cuenta con bordillo; 3, otros.

**TABLA A.1: Características de proyecto y operación del tramo Cd. Mendoza-Córdoba utilizadas en el MSV para la predicción de la variación de accidentes (carretera rural multicarril) (Continuación).**

Identificador	Segmento		Características de Proyecto													
			Cuerpo	Longitud del segmento	Ancho de carril Izquierdo Derecho				Número de carriles	Tipo de faja central*	Barrera central de concreto	Ancho de faja central		Número de accesos en la faja central	Número de accesos	
	km	km			m	m	ft	m				ft	m		ft	Núm/km
86	286+000	286+100	B	100	3.7	12.14	3.6	11.81	2	1	no	4	13.12	0	0	0
87	286+100	287+000	B	900	3.7	12.14	3.6	11.81	2	1	no	4	13.12	0	0	0
88	287+000	288+000	B	1000	3.7	12.14	3.6	11.81	2	1	no	4.2	13.78	0	0	0
89	288+000	289+000	B	1000	3.7	12.14	3.7	11.98	2	1	no	4	13.12	0	0	0
90	289+000	290+000	B	1000	3.7	12.14	3.7	11.98	2	1	no	4	13.12	0	0	0
91	290+000	291+000	B	1000	3.7	12.14	3.7	11.98	2	1	no	4	13.12	0	0	0
92	291+000	291+700	B	700	3.7	12.14	3.7	11.98	2	1	no	3	9.84	0	1	1
93	291+700	292+000	B	300	3.7	12.14	3.7	11.98	2	1	no	3	9.84	0	0	0
94	292+000	293+000	B	1000	3.7	12.14	3.7	11.98	2	1	no	3.6	11.81	0	0	0
95	293+000	294+000	B	1000	3.7	12.14	3.7	11.98	2	2	no	3	9.84	0	0	0
96	294+000	295+000	B	1000	3.7	12.14	3.7	11.98	2	2	no	2.5	8.20	0	0	0
97	295+000	296+000	B	1000	3.6	11.81	3.6	11.81	2	2	no	2.5	8.20	0	0	0
98	296+000	297+000	B	1000	3.5	11.48	3.5	11.48	2	2	no	3	9.84	0	1	1

\*Tipo de faja central: 0, si no hay faja separadora central; 1, si hay faja separadora central y solo está pintada; 2, si hay faja separadora central y cuenta con bordillo; 3, otros.

**TABLA A.1: Características de proyecto y operación del tramo Cd. Mendoza-Córdoba utilizadas en el MSV para la predicción de la variación de accidentes (carretera rural multicarril) (Continuación).**

Identificador	Características de Proyecto				Características de Operación											
	Ancho de acotamiento Interno		Ancho de acotamiento Externo		Tipo de acotamiento	Uso de suelo adyacente al camino	Velocidad de proyecto km/hr	TDPA (veh/día)	Mezcla de vehículos							
	m	ft	m	ft					A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R4	OTROS
1	0.6	1.97	1.2	3.94	pavimento	área verde	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
2	0.6	1.97	1.2	3.94	pavimento	área verde	110	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
3	0.6	1.97	1.2	3.94	pavimento	área verde	110	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
4	0.6	1.97	1.2	3.94	pavimento	área verde	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
5	0.6	1.97	1.4	4.59	pavimento	área verde	70	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
6	0.6	1.97	1.4	4.59	pavimento	área verde	70	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
7	0.7	2.30	1.2	3.94	pavimento	área verde	70	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
8	0.8	2.62	1.2	3.94	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
9	1	3.28	1.2	3.94	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
10	1	3.28	1.2	3.94	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
11	0.7	2.30	1.2	3.94	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
12	0.7	2.30	1.2	3.94	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
13	0.7	2.30	1.2	3.94	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
14	0.8	2.62	1.1	3.61	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
15	1.2	3.94	1.1	3.61	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
16	1.2	3.94	1.4	4.59	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
17	2.5	8.20	1.3	4.27	pavimento	equipamiento	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
18	0.8	2.62	1.2	3.94	pavimento	área verde	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
19	1.4	4.59	1.4	4.59	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
20	2.6	8.53	2.6	8.53	pavimento	área verde	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
21	2.5	8.20	2.7	8.86	pavimento	área verde	80	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
22	2.5	8.20	2.7	8.86	pavimento	área verde	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4

**TABLA A.1: Características de proyecto y operación del tramo Cd. Mendoza-Córdoba utilizadas en el MSV para la predicción de la variación de accidentes (carretera rural multicarril) (Continuación).**

Identificador	Características de Proyecto				Características de Operación											
	Ancho de acotamiento Interno		Ancho de acotamiento Externo		Tipo de acotamiento	Uso de suelo adyacente al camino	Velocidad de proyecto km/hr	TDPA (veh/día)	Mezcla de vehículos							
	m	ft	m	ft					A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R4	OTROS
23	1.8	5.91	1.8	5.91	pavimento	área verde	80	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
24	1.2	3.94	1.4	4.59	pavimento	área verde	80	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
25	1.2	3.94	1.2	3.94	pavimento	área verde	80	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
26	0.7	2.30	1.1	3.61	pavimento	área verde	80	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
27	0.7	2.30	1.1	3.61	pavimento	área verde	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
28	0.7	2.30	1.1	3.61	pavimento	área verde	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
29	0.7	2.30	1.1	3.61	pavimento	área verde	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
30	0.7	2.30	1.1	3.61	pavimento	área verde	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
31	0.5	1.64	1.5	4.92	pavimento	área verde	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
32	0.5	1.64	1.6	5.25	pavimento	área verde	80	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
33	0.5	1.64	1.2	3.94	pavimento	área verde	80	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
34	0.5	1.64	1.2	3.94	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
35	0.5	1.64	1.2	3.94	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
36	0.5	1.64	1.2	3.94	pavimento	área verde	50	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
37	0.6	1.97	1.2	3.94	pavimento	equipamiento	50	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
38	1	3.28	1.8	5.91	pavimento	área verde	50	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
39	0.6	1.97	1.1	3.61	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
40	0.6	1.97	1.6	5.25	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
41	0.6	1.97	1.4	4.59	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
42	0.6	1.97	1.6	5.25	pavimento	equipamiento	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
43	0.9	2.95	2.3	7.55	pavimento	equipamiento	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
44	0.7	2.30	1.6	5.25	pavimento	área verde	110	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4

**TABLA A.1: Características de proyecto y operación del tramo Cd. Mendoza-Córdoba utilizadas en el MSV para la predicción de la variación de accidentes (carretera rural multicarril) (Continuación).**

Identificador	Características de Proyecto				Características de Operación											
	Ancho de acotamiento Interno		Ancho de acotamiento Externo		Tipo de acotamiento	Uso de suelo adyacente al camino	Velocidad de proyecto km/hr	TDPA (veh/día)	Mezcla de vehículos							
	m	ft	m	ft					A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R4	OTROS
45	0.6	1.97	1.2	3.94	pavimento	área verde	110	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
46	0.6	1.97	1.6	5.25	pavimento	área verde	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
47	0.5	1.64	1.6	5.25	pavimento	área verde	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
48	0.6	1.97	1.8	5.91	pavimento	área verde	80	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
49	0.9	2.95	0.8	2.62	pavimento	área verde	110	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
50	0.9	2.95	0.8	2.62	pavimento	área verde	110	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
51	0.9	2.95	0.8	2.62	pavimento	área verde	110	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
52	0.9	2.95	0.8	2.62	pavimento	área verde	110	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
53	0.9	2.95	1.4	4.59	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
54	1.1	3.61	1.4	4.59	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
55	0.5	1.64	1.2	3.94	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
56	0.7	2.30	1.4	4.59	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
57	1.1	3.61	1.2	3.94	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
58	1.1	3.61	1.2	3.94	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
59	0.7	2.30	1.2	3.94	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
60	0.6	1.97	1.2	3.94	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
61	0.6	1.97	1.2	3.94	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
62	1.2	3.94	1.2	3.94	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
63	1.2	3.94	1.2	3.94	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
64	1.2	3.94	1.2	3.94	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
65	2.2	7.22	2.2	7.22	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
66	2.5	8.20	2.5	8.20	pavimento	equipamiento	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4

**TABLA A.1: Características de proyecto y operación del tramo Cd. Mendoza-Córdoba utilizadas en el MSV para la predicción de la variación de accidentes (carretera rural multicarril) (Continuación).**

Identificador	Características de Proyecto				Características de Operación											
	Ancho de acotamiento Interno		Ancho de acotamiento Externo		Tipo de acotamiento	Uso de suelo adyacente al camino	Velocidad de proyecto km/hr	TDPA (veh/día)	Mezcla de vehículos							
	m	ft	m	ft					A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R4	OTROS
67	2.3	7.55	2.2	7.22	pavimento	área verde	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
68	2.2	7.22	2.0	6.56	pavimento	área verde	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
69	2	6.56	1.8	5.91	pavimento	área verde	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
70	1.8	5.91	1.8	5.91	pavimento	área verde	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
71	1.8	5.91	1.8	5.91	pavimento	área verde	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
72	1.8	5.91	1.8	5.91	pavimento	equipamiento	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
73	0.8	2.62	1.4	4.59	pavimento	área verde	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
74	0.7	2.30	1.5	4.92	pavimento	área verde	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
75	0.7	2.30	1.4	4.59	pavimento	área verde	80	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
76	0.7	2.30	1.4	4.59	pavimento	actividades productivas	80	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
77	0.7	2.30	1.4	4.59	pavimento	área verde	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
78	0.7	2.30	1.2	3.94	pavimento	área verde	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
79	0.7	2.30	1.2	3.94	pavimento	área verde	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
80	0.7	2.30	1.2	3.94	pavimento	equipamiento	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
81	0.7	2.30	1.2	3.94	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
82	0.7	2.30	1.1	3.61	pavimento	residencial	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
83	0.7	2.30	1.1	3.61	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
84	1.1	3.61	1.1	3.61	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
85	0.7	2.30	1.2	3.94	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
86	0.6	1.97	1.1	3.61	pavimento	equipamiento	40	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
87	0.6	1.97	1.1	3.61	pavimento	área verde	40	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4

**TABLA A.1: Características de proyecto y operación del tramo Cd. Mendoza-Córdoba utilizadas en el MSV para la predicción de la variación de accidentes (carretera rural multicarril) (Continuación).**

Identificador	Características de Proyecto					Características de Operación										
	Ancho de acotamiento Interno Externo				Tipo de acotamiento	Uso de suelo adyacente al camino	Velocidad de proyecto km/hr	TDPA (veh/día)	Mezcla de vehículos							
	m	ft	m	ft					A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R4	OTROS
88	0.6	1.97	1.1	3.61	pavimento	área verde	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
89	0.6	1.97	1.4	4.59	pavimento	área verde	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
90	0.6	1.97	1.4	4.59	pavimento	área verde	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
91	0.6	1.97	1.2	3.94	pavimento	área verde	80	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
92	0.6	1.97	1.4	4.59	pavimento	área verde	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
93	0.6	1.97	1.4	4.59	pavimento	actividades productivas	60	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
94	0.6	1.97	1.4	4.59	pavimento	área verde	90	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
95	0.6	1.97	1.4	4.59	pavimento	área verde	80	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
96	0.6	1.97	1.4	4.59	pavimento	área verde	80	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
97	0.6	1.97	1.2	3.94	pavimento	área verde	80	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4
98	0.6	1.97	1.3	4.27	pavimento	área verde	80	32529	72.1	5.8	4.8	5.2	5.9	1.6	4.2	0.4



# **ESTIMACIÓN DE LA TASA MEDIA DE CRECIMIENTO DEL TRÁNSITO (TMCT)**

La siguiente muestra estadística corresponde a los aforos históricos que presenta la vía: “Carr. Puebla-Córdoba (Cuota)” en el lugar Caseta de cobro Fortín de las Flores.

	TDPA
AÑO	SC0
2005	25890
2006	26653
2007	28566
2008	29106
2009	32529

SC0: Indica que los datos corresponden a ambos sentidos de circulación

Con base en el análisis del crecimiento del flujo vehicular en el tramo en los últimos cinco años, correspondientes a los datos anteriores, se determinará la Tasa Media de Crecimiento del Tránsito (TMCT), por el Método de Incrementos Parciales (MIP).

VOLUMEN VEHICULAR				
AÑO	SC0	Δ	% Δ	n
2005	25890	--	--	0
2006	26653	763	2.95	1
2007	28566	1913	7.18	2
2008	29106	540	1.89	3
2009	32529	3423	11.76	4
		Σ=	23.78	

De acuerdo a lo anterior se tiene para ambos sentidos de circulación (SC0) una TMCT de:

$$i = \frac{23.78}{4} = 5.95 \%$$

# **ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA LAS ALTERNATIVAS DE CADA UNO DE LOS SEGMENTOS**

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA LA ALTERNATIVA:

1-1

TMCT (ESC. TENDENCIAL)	5.95 %		
TD	10 %		
COSTO UNITARIO PROMEDIO POR LESIONADO		US\$	100,000.00
COSTO UNITARIO PROMEDIO POR MUERTO		US\$	400,000.00

AÑO	HORIZONTE	COSTOS NO DESCONTADOS	COSTOS DESCONTADOS	LESIONADOS EVITADOS	MUERTOS EVITADOS	BENEFICIOS NO DESCONTADOS	BENEFICIOS DESCONTADOS	FLUJO NETO
2010	0	231,837.42	231,837.42	0.90	0.00			-231,837.42
2011	1	3,477.56	3,161.42	0.95	0.00	95,355.00	86,686.36	83,524.94
2012	2	3,684.48	3,045.02	1.01	0.00	101,028.62	83,494.73	80,449.71
2013	3	3,903.70	2,932.91	1.07	0.00	107,039.83	80,420.61	77,487.70
2014	4	4,135.97	2,824.93	1.13	0.00	113,408.70	77,459.66	74,634.74
2015	5	4,382.06	2,720.92	1.20	0.00	120,156.51	74,607.74	71,886.82
2016	6	4,642.80	2,620.74	1.27	0.00	127,305.83	71,860.82	69,240.08
2017	7	4,919.04	2,524.25	1.35	0.00	134,880.52	69,215.03	66,690.79
2018	8	5,211.73	2,431.31	1.43	0.00	142,905.91	66,666.66	64,235.35
2019	9	5,521.82	2,341.79	1.51	0.00	151,408.81	64,212.12	61,870.33
2020	10	5,850.37	2,255.57	1.60	0.00	160,417.64	61,847.94	59,592.37
2021	11	6,198.47	2,172.53	1.70	0.00	169,962.49	59,570.82	57,398.29
2022	12	6,567.28	2,092.54	1.80	0.00	180,075.26	57,377.53	55,284.99
2023	13	6,958.03	2,015.49	1.91	0.00	190,789.73	55,264.99	53,249.50
2024	14	7,372.03	1,941.29	2.02	0.00	202,141.72	53,230.23	51,288.95
2025	15	7,810.67	1,869.81	2.14	0.00	214,169.16	51,270.39	49,400.58
2026	16	8,275.40	1,800.97	2.27	0.00	226,912.22	49,382.71	47,581.74
2027	17	8,767.79	1,734.66	2.40	0.00	240,413.50	47,564.53	45,829.87
2028	18	9,289.47	1,670.79	2.55	0.00	254,718.10	45,813.29	44,142.50
2029	19	9,842.20	1,609.28	2.70	0.00	269,873.83	44,126.53	42,517.25
2030	20	10,427.81	1,550.03	2.86	0.00	285,931.32	42,501.87	40,951.84
			277,153.66				1,242,574.57	

REL. B/C 4.48  
 VPN 965,420.91  
 TIR 32.28%

Anexo C Análisis de factibilidad económica para las alternativas de cada uno de los segmentos

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA LA ALTERNATIVA:

2-1

TMCT (ESC. TENDENCIAL)

5.95 %

TD

10 %

COSTO UNITARIO PROMEDIO POR LESIONADO

US\$ 100,000.00

COSTO UNITARIO PROMEDIO POR MUERTO

US\$ 400,000.00

AÑO	HORIZONTE	COSTOS NO DESCONTADOS	COSTOS DESCONTADOS	LESIONADOS EVITADOS	MUERTOS EVITADOS	BENEFICIOS NO DESCONTADOS	BENEFICIOS DESCONTADOS	FLUJO NETO
2010	0	300,521.08	300,521.08	1.10	0.00			-300,521.08
2011	1	4,507.82	4,098.01	1.17	0.00	116,545.00	105,950.00	101,851.99
2012	2	4,776.03	3,947.13	1.23	0.00	123,479.43	102,049.11	98,101.98
2013	3	5,060.21	3,801.81	1.31	0.00	130,826.45	98,291.85	94,490.04
2014	4	5,361.29	3,661.83	1.39	0.00	138,610.63	94,672.92	91,011.09
2015	5	5,680.28	3,527.01	1.47	0.00	146,857.96	91,187.24	87,660.23
2016	6	6,018.26	3,397.15	1.56	0.00	155,596.01	87,829.89	84,432.74
2017	7	6,376.35	3,272.07	1.65	0.00	164,853.97	84,596.15	81,324.08
2018	8	6,755.74	3,151.60	1.75	0.00	174,662.78	81,481.48	78,329.87
2019	9	7,157.71	3,035.57	1.85	0.00	185,055.22	78,481.48	75,445.91
2020	10	7,583.59	2,923.80	1.96	0.00	196,066.00	75,591.93	72,668.13
2021	11	8,034.81	2,816.15	2.08	0.00	207,731.93	72,808.77	69,992.62
2022	12	8,512.89	2,712.47	2.20	0.00	220,091.98	70,128.09	67,415.62
2023	13	9,019.40	2,612.60	2.33	0.00	233,187.45	67,546.10	64,933.50
2024	14	9,556.06	2,516.41	2.47	0.00	247,062.11	65,059.17	62,542.77
2025	15	10,124.64	2,423.76	2.62	0.00	261,762.30	62,663.81	60,240.06
2026	16	10,727.06	2,334.52	2.77	0.00	277,337.16	60,356.65	58,022.13
2027	17	11,365.32	2,248.57	2.94	0.00	293,838.72	58,134.42	55,885.86
2028	18	12,041.55	2,165.78	3.11	0.00	311,322.12	55,994.02	53,828.24
2029	19	12,758.03	2,086.04	3.30	0.00	329,845.79	53,932.42	51,846.38
2030	20	13,517.13	2,009.24	3.49	0.00	349,471.61	51,946.73	49,937.49
			359,262.61				1,518,702.25	

REL. B/C

4.23

VPN

1,159,439.64

TIR

30.13%

2-2

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA LA ALTERNATIVA:

TMCT (ESC. TENDENCIAL)

5.95 %

TD

10 %

COSTO UNITARIO PROMEDIO POR LESIONADO

US\$ 100,000.00

COSTO UNITARIO PROMEDIO POR MUERTO

US\$ 400,000.00

AÑO	HORIZONTE	COSTOS NO DESCONTADOS	COSTOS DESCONTADOS	LESIONADOS EVITADOS	MUERTOS EVITADOS	BENEFICIOS NO DESCONTADOS	BENEFICIOS DESCONTADOS	FLUJO NETO
2010	0	364,601.15	364,601.15	6.40	0.00			-364,601.15
2011	1	5,469.02	4,971.83	6.78	0.00	678,080.00	616,436.36	611,464.53
2012	2	5,794.42	4,788.78	7.18	0.00	718,425.76	593,740.30	588,951.52
2013	3	6,139.19	4,612.47	7.61	0.00	761,172.09	571,879.86	567,267.39
2014	4	6,504.47	4,442.64	8.06	0.00	806,461.83	550,824.28	546,381.64
2015	5	6,891.49	4,279.07	8.54	0.00	854,446.31	530,543.93	526,264.86
2016	6	7,301.53	4,121.53	9.05	0.00	905,285.87	511,010.27	506,888.75
2017	7	7,735.98	3,969.78	9.59	0.00	959,150.38	492,195.80	488,226.02
2018	8	8,196.27	3,823.62	10.16	0.00	1,016,219.82	474,074.05	470,250.43
2019	9	8,683.94	3,682.84	10.77	0.00	1,076,684.90	456,619.50	452,936.66
2020	10	9,200.64	3,547.24	11.41	0.00	1,140,747.65	439,807.60	436,260.36
2021	11	9,748.08	3,416.64	12.09	0.00	1,208,622.14	423,614.69	420,198.05
2022	12	10,328.09	3,290.85	12.81	0.00	1,280,535.16	408,017.96	404,727.12
2023	13	10,942.61	3,169.68	13.57	0.00	1,356,727.00	392,995.48	389,825.80
2024	14	11,593.69	3,052.98	14.37	0.00	1,437,452.26	378,526.11	375,473.12
2025	15	12,283.52	2,940.58	15.23	0.00	1,522,980.66	364,589.46	361,648.89
2026	16	13,014.39	2,832.31	16.14	0.00	1,613,598.01	351,165.94	348,333.63
2027	17	13,788.74	2,728.03	17.10	0.00	1,709,607.10	338,236.65	335,508.62
2028	18	14,609.17	2,627.59	18.11	0.00	1,811,328.72	325,783.39	323,155.80
2029	19	15,478.42	2,530.85	19.19	0.00	1,919,102.78	313,788.64	311,257.79
2030	20	16,399.38	2,437.66	20.33	0.00	2,033,289.39	302,235.51	299,797.85
			435,868.12				8,836,085.80	

REL. B/C

20.27

VPN

8,400,217.68

TIR

164.03%

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA LA ALTERNATIVA:

3-1

TMCT (ESC. TENDENCIAL)

5.95 %

TD

10 %

COSTO UNITARIO PROMEDIO POR LESIONADO

US\$ 100,000.00

COSTO UNITARIO PROMEDIO POR MUERTO

US\$ 400,000.00

AÑO	HORIZONTE	COSTOS NO DESCONTADOS	COSTOS DESCONTADOS	LESIONADOS EVITADOS	MUERTOS EVITADOS	BENEFICIOS NO DESCONTADOS	BENEFICIOS DESCONTADOS	FLUJO NETO
2010	0	89,892.02	89,892.02	1.10	0.00			-89,892.02
2011	1	1,348.38	1,225.80	1.17	0.00	116,545.00	105,950.00	104,724.20
2012	2	1,428.61	1,180.67	1.23	0.00	123,479.43	102,049.11	100,868.45
2013	3	1,513.61	1,137.20	1.31	0.00	130,826.45	98,291.85	97,154.65
2014	4	1,603.67	1,095.33	1.39	0.00	138,610.63	94,672.92	93,577.59
2015	5	1,699.09	1,055.00	1.47	0.00	146,857.96	91,187.24	90,132.24
2016	6	1,800.19	1,016.16	1.56	0.00	155,596.01	87,829.89	86,813.73
2017	7	1,907.30	978.74	1.65	0.00	164,853.97	84,596.15	83,617.41
2018	8	2,020.78	942.71	1.75	0.00	174,662.78	81,481.48	80,538.77
2019	9	2,141.02	908.00	1.85	0.00	185,055.22	78,481.48	77,573.48
2020	10	2,268.41	874.57	1.96	0.00	196,066.00	75,591.93	74,717.36
2021	11	2,403.38	842.37	2.08	0.00	207,731.93	72,808.77	71,966.41
2022	12	2,546.38	811.35	2.20	0.00	220,091.98	70,128.09	69,316.73
2023	13	2,697.89	781.48	2.33	0.00	233,187.45	67,546.10	66,764.62
2024	14	2,858.41	752.71	2.47	0.00	247,062.11	65,059.17	64,306.47
2025	15	3,028.49	725.00	2.62	0.00	261,762.30	62,663.81	61,938.82
2026	16	3,208.68	698.30	2.77	0.00	277,337.16	60,356.65	59,658.34
2027	17	3,399.60	672.59	2.94	0.00	293,838.72	58,134.42	57,461.83
2028	18	3,601.88	647.83	3.11	0.00	311,322.12	55,994.02	55,346.19
2029	19	3,816.19	623.98	3.30	0.00	329,845.79	53,932.42	53,308.45
2030	20	4,043.25	601.00	3.49	0.00	349,471.61	51,946.73	51,345.73
			107,462.81				1,518,702.25	

REL. B/C

14.13

VPN

1,411,239.43

TIR

112.82%

4-1

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA LA ALTERNATIVA:

TMCT (ESC. TENDENCIAL) 5.95 %  
 TD 10 %  
 COSTO UNITARIO PROMEDIO POR LESIONADO US\$ 100,000.00  
 COSTO UNITARIO PROMEDIO POR MUERTO US\$ 400,000.00

AÑO	HORIZONTE	COSTOS NO DESCONTADOS	COSTOS DESCONTADOS	LESIONADOS EVITADOS	MUERTOS EVITADOS	BENEFICIOS NO DESCONTADOS	BENEFICIOS DESCONTADOS	FLUJO NETO
2010	0	103,531.04	103,531.04	1.30	0.00			-103,531.04
2011	1	1,552.97	1,411.79	1.38	0.00	137,735.00	125,213.64	123,801.85
2012	2	1,645.37	1,359.81	1.46	0.00	145,930.23	120,603.50	119,243.69
2013	3	1,743.27	1,309.74	1.55	0.00	154,613.08	116,163.10	114,853.35
2014	4	1,846.99	1,261.52	1.64	0.00	163,812.56	111,886.18	110,624.66
2015	5	1,956.89	1,215.07	1.74	0.00	173,559.41	107,766.74	106,551.66
2016	6	2,073.32	1,170.34	1.84	0.00	183,886.19	103,798.96	102,628.63
2017	7	2,196.68	1,127.25	1.95	0.00	194,827.42	99,977.27	98,850.03
2018	8	2,327.39	1,085.74	2.06	0.00	206,419.65	96,296.29	95,210.55
2019	9	2,465.87	1,045.77	2.19	0.00	218,701.62	92,750.84	91,705.07
2020	10	2,612.59	1,007.26	2.32	0.00	231,714.37	89,335.92	88,328.65
2021	11	2,768.03	970.18	2.46	0.00	245,501.37	86,046.73	85,076.55
2022	12	2,932.73	934.46	2.60	0.00	260,108.70	82,878.65	81,944.19
2023	13	3,107.23	900.05	2.76	0.00	275,585.17	79,827.21	78,927.15
2024	14	3,292.11	866.92	2.92	0.00	291,982.49	76,888.12	76,021.20
2025	15	3,487.99	835.00	3.09	0.00	309,355.45	74,057.23	73,222.24
2026	16	3,695.53	804.25	3.28	0.00	327,762.10	71,330.58	70,526.33
2027	17	3,915.41	774.64	3.47	0.00	347,263.94	68,704.32	67,929.68
2028	18	4,148.38	746.12	3.68	0.00	367,926.15	66,174.75	65,428.63
2029	19	4,395.21	718.65	3.90	0.00	389,817.75	63,738.32	63,019.67
2030	20	4,656.72	692.19	4.13	0.00	413,011.91	61,391.59	60,699.40
			123,767.80				1,794,829.93	

REL. B/C 14.50  
 VPN 1,671,062.13  
 TIR 115.90%

Anexo C Análisis de factibilidad económica para las alternativas de cada uno de los segmentos

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA LA ALTERNATIVA:

4-2

TMCT (ESC. TENDENCIAL)

5.95 %

TD

10 %

COSTO UNITARIO PROMEDIO POR LESIONADO

US\$ 100,000.00

COSTO UNITARIO PROMEDIO POR MUERTO

US\$ 400,000.00

AÑO	HORIZONTE	COSTOS NO DESCONTADOS	COSTOS DESCONTADOS	LESIONADOS EVITADOS	MUERTOS EVITADOS	BENEFICIOS NO DESCONTADOS	BENEFICIOS DESCONTADOS	FLUJO NETO
2010	0	199,531.15	199,531.15	8.80	0.00			-199,531.15
2011	1	2,992.97	2,720.88	9.32	0.00	932,360.00	847,600.00	844,879.12
2012	2	3,171.05	2,620.70	9.88	0.00	987,835.42	816,392.91	813,772.21
2013	3	3,359.73	2,524.21	10.47	0.00	1,046,611.63	786,334.81	783,810.59
2014	4	3,559.63	2,431.28	11.09	0.00	1,108,885.02	757,383.39	754,952.11
2015	5	3,771.43	2,341.76	11.75	0.00	1,174,863.68	729,497.91	727,156.15
2016	6	3,995.83	2,255.54	12.45	0.00	1,244,768.07	702,639.12	700,383.58
2017	7	4,233.58	2,172.50	13.19	0.00	1,318,831.77	676,769.23	674,596.73
2018	8	4,485.48	2,092.51	13.97	0.00	1,397,302.26	651,851.82	649,759.31
2019	9	4,752.36	2,015.47	14.80	0.00	1,480,441.74	627,851.82	625,836.35
2020	10	5,035.13	1,941.26	15.69	0.00	1,568,528.02	604,735.45	602,794.19
2021	11	5,334.72	1,869.79	16.62	0.00	1,661,855.44	582,470.19	580,600.41
2022	12	5,652.14	1,800.94	17.61	0.00	1,760,735.84	561,024.70	559,223.76
2023	13	5,988.44	1,734.64	18.65	0.00	1,865,499.62	540,368.79	538,634.15
2024	14	6,344.75	1,670.77	19.76	0.00	1,976,496.85	520,473.39	518,802.62
2025	15	6,722.26	1,609.26	20.94	0.00	2,094,098.41	501,310.51	499,701.25
2026	16	7,122.24	1,550.01	22.19	0.00	2,218,697.27	482,853.17	481,303.16
2027	17	7,546.01	1,492.94	23.51	0.00	2,350,709.76	465,075.39	463,582.46
2028	18	7,995.00	1,437.97	24.91	0.00	2,490,576.99	447,952.16	446,514.19
2029	19	8,470.70	1,385.03	26.39	0.00	2,638,766.32	431,459.38	430,074.35
2030	20	8,974.71	1,334.03	27.96	0.00	2,795,772.91	415,573.83	414,239.80
			238,532.62				12,149,617.98	

REL. B/C

50.93

VPN

11,911,085.36

TIR

419.75%

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA LA ALTERNATIVA:

5-1

TMCT (ESC. TENDENCIAL) 5.95 %

TD 10 %

COSTO UNITARIO PROMEDIO POR LESIONADO US\$ 100,000.00

COSTO UNITARIO PROMEDIO POR MUERTO US\$ 400,000.00

AÑO	HORIZONTE	COSTOS NO DESCONTADOS	COSTOS DESCONTADOS	LESIONADOS EVITADOS	MUERTOS EVITADOS	BENEFICIOS NO DESCONTADOS	BENEFICIOS DESCONTADOS	FLUJO NETO
2010	0	79,434.12	79,434.12	1.10	0.10			-79,434.12
2011	1	1,191.51	1,083.19	1.17	0.11	158,925.00	144,477.27	143,394.08
2012	2	1,262.41	1,043.31	1.23	0.11	168,381.04	139,157.88	138,114.57
2013	3	1,337.52	1,004.90	1.31	0.12	178,399.71	134,034.34	133,029.44
2014	4	1,417.10	967.90	1.39	0.13	189,014.49	129,099.44	128,131.54
2015	5	1,501.42	932.26	1.47	0.13	200,260.85	124,346.23	123,413.97
2016	6	1,590.75	897.94	1.56	0.14	212,176.38	119,768.03	118,870.09
2017	7	1,685.40	864.88	1.65	0.15	224,800.87	115,358.39	114,493.51
2018	8	1,785.69	833.04	1.75	0.16	238,176.52	111,111.10	110,278.07
2019	9	1,891.93	802.36	1.85	0.17	252,348.02	107,020.20	106,217.83
2020	10	2,004.50	772.82	1.96	0.18	267,362.73	103,079.91	102,307.08
2021	11	2,123.77	744.37	2.08	0.19	283,270.81	99,284.69	98,540.32
2022	12	2,250.14	716.96	2.20	0.20	300,125.43	95,629.21	94,912.25
2023	13	2,384.02	690.57	2.33	0.21	317,982.89	92,108.32	91,417.75
2024	14	2,525.87	665.14	2.47	0.22	336,902.87	88,717.06	88,051.92
2025	15	2,676.16	640.65	2.62	0.24	356,948.59	85,450.66	84,810.00
2026	16	2,835.39	617.06	2.77	0.25	378,187.03	82,304.52	81,687.45
2027	17	3,004.10	594.34	2.94	0.27	400,689.16	79,274.21	78,679.87
2028	18	3,182.84	572.46	3.11	0.28	424,530.17	76,355.48	75,783.02
2029	19	3,372.22	551.38	3.30	0.30	449,789.71	73,544.21	72,992.83
2030	20	3,572.87	531.08	3.49	0.32	476,552.20	70,836.45	70,305.36
			94,960.76				2,070,957.61	

REL. B/C 21.81  
 VPN 1,975,996.85  
 TIR 176.84%

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA LA ALTERNATIVA:

5-2

TMCT (ESC. TENDENCIAL)	5.95 %		
TD	10 %		
COSTO UNITARIO PROMEDIO POR LESIONADO		US\$	100,000.00
COSTO UNITARIO PROMEDIO POR MUERTO		US\$	400,000.00

AÑO	HORIZONTE	COSTOS NO DESCONTADOS	COSTOS DESCONTADOS	LESIONADOS EVITADOS	MUERTOS EVITADOS	BENEFICIOS NO DESCONTADOS	BENEFICIOS DESCONTADOS	FLUJO NETO
2010	0	4,649,526.31	4,649,526.31	18.10	0.90			-4,649,526.31
2011	1	69,742.89	63,402.63	19.18	0.95	2,299,115.00	2,090,104.55	2,026,701.91
2012	2	73,892.60	61,068.26	20.32	1.01	2,435,912.34	2,013,150.70	1,952,082.43
2013	3	78,289.21	58,819.84	21.53	1.07	2,580,849.13	1,939,030.15	1,880,210.31
2014	4	82,947.41	56,654.20	22.81	1.13	2,734,409.65	1,867,638.58	1,810,984.38
2015	5	87,882.79	54,568.30	24.16	1.20	2,897,107.02	1,798,875.53	1,744,307.23
2016	6	93,111.81	52,559.19	25.60	1.27	3,069,484.89	1,732,644.20	1,680,085.01
2017	7	98,651.96	50,624.06	27.13	1.35	3,252,119.24	1,668,851.39	1,618,227.33
2018	8	104,521.76	48,760.17	28.74	1.43	3,445,620.34	1,607,407.32	1,558,647.15
2019	9	110,740.80	46,964.91	30.45	1.51	3,650,634.75	1,548,225.50	1,501,260.59
2020	10	117,329.88	45,235.75	32.26	1.60	3,867,847.52	1,491,222.65	1,445,986.91
2021	11	124,311.01	43,570.25	34.18	1.70	4,097,984.44	1,436,318.55	1,392,748.30
2022	12	131,707.51	41,966.07	36.22	1.80	4,341,814.52	1,383,435.91	1,341,469.84
2023	13	139,544.11	40,420.96	38.37	1.91	4,600,152.48	1,332,500.32	1,292,079.36
2024	14	147,846.98	38,932.73	40.65	2.02	4,873,861.55	1,283,440.08	1,244,507.35
2025	15	156,643.88	37,499.30	43.07	2.14	5,163,856.32	1,236,186.15	1,198,686.85
2026	16	165,964.19	36,118.64	45.63	2.27	5,471,105.77	1,190,672.02	1,154,553.38
2027	17	175,839.06	34,788.82	48.35	2.40	5,796,636.56	1,146,833.64	1,112,044.82
2028	18	186,301.48	33,507.96	51.23	2.55	6,141,536.44	1,104,609.31	1,071,101.35
2029	19	197,386.42	32,274.26	54.27	2.70	6,506,957.85	1,063,939.60	1,031,665.35
2030	20	209,130.91	31,085.98	57.50	2.86	6,894,121.85	1,024,767.28	993,681.31
			5,558,348.57				29,959,853.42	

REL. B/C 5.39  
 VPN 24,401,504.85  
 TIR 39.88%

6-1

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA LA ALTERNATIVA:

TMCT (ESC. TENDENCIAL) 5.95 %  
 TD 10 %  
 COSTO UNITARIO PROMEDIO POR LESIONADO US\$ 100,000.00  
 COSTO UNITARIO PROMEDIO POR MUERTO US\$ 400,000.00

AÑO	HORIZONTE	COSTOS NO DESCONTADOS	COSTOS DESCONTADOS	LESIONADOS EVITADOS	MUERTOS EVITADOS	BENEFICIOS NO DESCONTADOS	BENEFICIOS DESCONTADOS	FLUJO NETO
2010	0	135,844.55	135,844.55	1.20	0.10			-135,844.55
2011	1	2,037.67	1,852.43	1.27	0.11	169,520.00	154,109.09	152,256.67
2012	2	2,158.91	1,784.22	1.35	0.11	179,606.44	148,435.07	146,650.85
2013	3	2,287.36	1,718.53	1.43	0.12	190,293.02	142,969.96	141,251.43
2014	4	2,423.46	1,655.26	1.51	0.13	201,615.46	137,706.07	136,050.81
2015	5	2,567.66	1,594.31	1.60	0.13	213,611.58	132,635.98	131,041.67
2016	6	2,720.43	1,535.61	1.70	0.14	226,321.47	127,752.57	126,216.95
2017	7	2,882.30	1,479.08	1.80	0.15	239,787.59	123,048.95	121,569.87
2018	8	3,053.80	1,424.62	1.91	0.16	254,054.96	118,518.51	117,093.89
2019	9	3,235.50	1,372.17	2.02	0.17	269,171.23	114,154.88	112,782.71
2020	10	3,428.01	1,321.65	2.14	0.18	285,186.91	109,951.90	108,630.25
2021	11	3,631.98	1,272.99	2.27	0.19	302,155.53	105,903.67	104,630.69
2022	12	3,848.08	1,226.12	2.40	0.20	320,133.79	102,004.49	100,778.37
2023	13	4,077.04	1,180.97	2.54	0.21	339,181.75	98,248.87	97,067.90
2024	14	4,319.62	1,137.49	2.70	0.22	359,363.06	94,631.53	93,494.03
2025	15	4,576.64	1,095.61	2.86	0.24	380,745.17	91,147.37	90,051.75
2026	16	4,848.95	1,055.27	3.03	0.25	403,399.50	87,791.49	86,736.21
2027	17	5,137.46	1,016.42	3.21	0.27	427,401.77	84,559.16	83,542.74
2028	18	5,443.14	979.00	3.40	0.28	452,832.18	81,445.85	80,466.85
2029	19	5,767.01	942.95	3.60	0.30	479,775.69	78,447.16	77,504.21
2030	20	6,110.15	908.23	3.81	0.32	508,322.35	75,558.88	74,650.64
			162,397.48			2,209,021.45		

REL. B/C 13.60  
 VPN 2,046,623.97  
 TIR 108.40%

Anexo C Análisis de factibilidad económica para las alternativas de cada uno de los segmentos

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA LA ALTERNATIVA:

6-2

TMCT (ESC. TENDENCIAL) 5.95 %

TD 10 %

COSTO UNITARIO PROMEDIO POR LESIONADO US\$ 100,000.00

COSTO UNITARIO PROMEDIO POR MUERTO US\$ 400,000.00

AÑO	HORIZONTE	COSTOS NO DESCONTADOS	COSTOS DESCONTADOS	LESIONADOS EVITADOS	MUERTOS EVITADOS	BENEFICIOS NO DESCONTADOS	BENEFICIOS DESCONTADOS	FLUJO NETO
2010	0	4,709,637.10	4,709,637.10	14.50	0.90			-4,709,637.10
2011	1	70,644.56	64,222.32	15.36	0.95	1,917,695.00	1,743,359.09	1,679,136.77
2012	2	74,847.91	61,857.77	16.28	1.01	2,031,797.85	1,679,171.78	1,617,314.00
2013	3	79,301.36	59,580.28	17.25	1.07	2,152,689.82	1,617,347.73	1,557,767.44
2014	4	84,019.79	57,386.65	18.27	1.13	2,280,774.87	1,557,799.92	1,500,413.28
2015	5	89,018.97	55,273.77	19.36	1.20	2,416,480.97	1,500,444.56	1,445,170.79
2016	6	94,315.59	53,238.69	20.51	1.27	2,560,261.59	1,445,200.92	1,391,962.23
2017	7	99,927.37	51,278.54	21.73	1.35	2,712,597.16	1,391,991.25	1,340,712.71
2018	8	105,873.05	49,390.56	23.02	1.43	2,873,996.69	1,340,740.67	1,291,350.11
2019	9	112,172.50	47,572.09	24.39	1.51	3,044,999.49	1,291,377.03	1,243,804.94
2020	10	118,846.76	45,820.57	25.85	1.60	3,226,176.96	1,243,830.88	1,198,010.31
2021	11	125,918.14	44,133.54	27.38	1.70	3,418,134.49	1,198,035.29	1,153,901.74
2022	12	133,410.27	42,508.62	29.01	1.80	3,621,513.49	1,153,925.81	1,111,417.18
2023	13	141,348.18	40,943.53	30.74	1.91	3,836,993.54	1,111,440.35	1,070,496.82
2024	14	149,758.40	39,436.07	32.57	2.02	4,065,294.66	1,070,519.14	1,031,083.07
2025	15	158,669.03	37,984.10	34.51	2.14	4,307,179.69	1,031,104.57	993,120.47
2026	16	168,109.83	36,585.60	36.56	2.27	4,563,456.88	993,141.18	956,555.58
2027	17	178,112.37	35,238.58	38.73	2.40	4,834,982.57	956,575.53	921,336.94
2028	18	188,710.05	33,941.16	41.04	2.55	5,122,664.03	921,356.15	887,414.99
2029	19	199,938.30	32,691.51	43.48	2.70	5,427,462.54	887,433.50	854,741.99
2030	20	211,834.63	31,487.87	46.07	2.86	5,750,396.56	854,759.81	823,271.94
			5,630,208.95				24,989,555.16	

REL. B/C

4.44

VPN

19,359,346.21

TIR

31.91%

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA LA ALTERNATIVA:

7-1

TMCT (ESC. TENDENCIAL) 5.95 %

TD 10 %

COSTO UNITARIO PROMEDIO POR LESIONADO US\$ 100,000.00

COSTO UNITARIO PROMEDIO POR MUERTO US\$ 400,000.00

AÑO	HORIZONTE	COSTOS NO DESCONTADOS	COSTOS DESCONTADOS	LESIONADOS EVITADOS	MUERTOS EVITADOS	BENEFICIOS NO DESCONTADOS	BENEFICIOS DESCONTADOS	FLUJO NETO
2010	0	359,164.70	359,164.70	2.20	0.10			-359,164.70
2011	1	5,387.47	4,897.70	2.33	0.11	275,470.00	250,427.27	245,529.57
2012	2	5,708.03	4,717.38	2.47	0.11	291,860.47	241,207.00	236,489.62
2013	3	6,047.65	4,543.69	2.62	0.12	309,226.16	232,326.19	227,782.50
2014	4	6,407.49	4,376.40	2.77	0.13	327,625.12	223,772.36	219,395.96
2015	5	6,788.73	4,215.27	2.94	0.13	347,118.81	215,533.47	211,318.20
2016	6	7,192.66	4,060.07	3.11	0.14	367,772.38	207,597.92	203,537.85
2017	7	7,620.63	3,910.59	3.30	0.15	389,654.84	199,954.54	196,043.96
2018	8	8,074.05	3,766.61	3.49	0.16	412,839.30	192,592.58	188,825.98
2019	9	8,554.46	3,627.93	3.70	0.17	437,403.24	185,501.67	181,873.75
2020	10	9,063.45	3,494.35	3.92	0.18	463,428.73	178,671.84	175,177.49
2021	11	9,602.73	3,365.70	4.15	0.19	491,002.74	172,093.47	168,727.77
2022	12	10,174.09	3,241.78	4.40	0.20	520,217.41	165,757.30	162,515.52
2023	13	10,779.45	3,122.42	4.66	0.21	551,170.34	159,654.42	156,531.99
2024	14	11,420.82	3,007.46	4.94	0.22	583,964.98	153,776.23	150,768.77
2025	15	12,100.36	2,896.73	5.24	0.24	618,710.90	148,114.47	145,217.74
2026	16	12,820.33	2,790.08	5.55	0.25	655,524.19	142,661.16	139,871.09
2027	17	13,583.14	2,687.35	5.88	0.27	694,527.88	137,408.64	134,721.29
2028	18	14,391.34	2,588.41	6.23	0.28	735,852.29	132,349.50	129,761.09
2029	19	15,247.63	2,493.11	6.60	0.30	779,635.50	127,476.63	124,983.53
2030	20	16,154.86	2,401.32	6.99	0.32	826,023.82	122,783.18	120,381.86
			429,369.04				3,589,659.86	

REL. B/C 8.36  
 VPN 3,160,290.82  
 TIR 64.68%

Anexo C Análisis de factibilidad económica para las alternativas de cada uno de los segmentos

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA LA ALTERNATIVA:

8-1

TMCT (ESC. TENDENCIAL) 5.95 %

TD 10 %

COSTO UNITARIO PROMEDIO POR LESIONADO US\$ 100,000.00

COSTO UNITARIO PROMEDIO POR MUERTO US\$ 400,000.00

AÑO	HORIZONTE	COSTOS NO DESCONTADOS	COSTOS DESCONTADOS	LESIONADOS EVITADOS	MUERTOS EVITADOS	BENEFICIOS NO DESCONTADOS	BENEFICIOS DESCONTADOS	FLUJO NETO
2010	0	144,201.04	144,201.04	0.20	0.00			-144,201.04
2011	1	2,163.02	1,966.38	0.21	0.00	21,190.00	19,263.64	17,297.26
2012	2	2,291.72	1,893.98	0.22	0.00	22,450.81	18,554.38	16,660.40
2013	3	2,428.07	1,824.25	0.24	0.00	23,786.63	17,871.25	16,047.00
2014	4	2,572.54	1,757.08	0.25	0.00	25,201.93	17,213.26	15,456.18
2015	5	2,725.61	1,692.39	0.27	0.00	26,701.45	16,579.50	14,887.11
2016	6	2,887.78	1,630.08	0.28	0.00	28,290.18	15,969.07	14,338.99
2017	7	3,059.61	1,570.06	0.30	0.00	29,973.45	15,381.12	13,811.06
2018	8	3,241.65	1,512.25	0.32	0.00	31,756.87	14,814.81	13,302.56
2019	9	3,434.53	1,456.58	0.34	0.00	33,646.40	14,269.36	12,812.78
2020	10	3,638.88	1,402.95	0.36	0.00	35,648.36	13,743.99	12,341.04
2021	11	3,855.40	1,351.29	0.38	0.00	37,769.44	13,237.96	11,886.67
2022	12	4,084.79	1,301.54	0.40	0.00	40,016.72	12,750.56	11,449.02
2023	13	4,327.84	1,253.62	0.42	0.00	42,397.72	12,281.11	11,027.49
2024	14	4,585.35	1,207.47	0.45	0.00	44,920.38	11,828.94	10,621.48
2025	15	4,858.17	1,163.01	0.48	0.00	47,593.15	11,393.42	10,230.41
2026	16	5,147.24	1,120.19	0.50	0.00	50,424.94	10,973.94	9,853.75
2027	17	5,453.50	1,078.95	0.53	0.00	53,425.22	10,569.90	9,490.95
2028	18	5,777.98	1,039.22	0.57	0.00	56,604.02	10,180.73	9,141.51
2029	19	6,121.77	1,000.96	0.60	0.00	59,971.96	9,805.89	8,804.94
2030	20	6,486.01	964.10	0.64	0.00	63,540.29	9,444.86	8,480.76
			172,387.38				276,127.68	

REL. B/C 1.60  
 VPN 103,740.30  
 TIR 6.79%

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA LA ALTERNATIVA:

9-1

TMCT (ESC. TENDENCIAL)	5.95 %		
TD	10 %		
COSTO UNITARIO PROMEDIO POR LESIONADO		US\$	100,000.00
COSTO UNITARIO PROMEDIO POR MUERTO		US\$	400,000.00

AÑO	HORIZONTE	COSTOS NO DESCONTADOS	COSTOS DESCONTADOS	LESIONADOS EVITADOS	MUERTOS EVITADOS	BENEFICIOS NO DESCONTADOS	BENEFICIOS DESCONTADOS	FLUJO NETO
2010	0	240,463.69	240,463.69	1.10	0.10			-240,463.69
2011	1	3,606.96	3,279.05	1.17	0.11	158,925.00	144,477.27	141,198.22
2012	2	3,821.57	3,158.32	1.23	0.11	168,381.04	139,157.88	135,999.56
2013	3	4,048.95	3,042.04	1.31	0.12	178,399.71	134,034.34	130,992.30
2014	4	4,289.87	2,930.04	1.39	0.13	189,014.49	129,099.44	126,169.41
2015	5	4,545.11	2,822.16	1.47	0.13	200,260.85	124,346.23	121,524.08
2016	6	4,815.55	2,718.25	1.56	0.14	212,176.38	119,768.03	117,049.78
2017	7	5,102.07	2,618.17	1.65	0.15	224,800.87	115,358.39	112,740.22
2018	8	5,405.64	2,521.77	1.75	0.16	238,176.52	111,111.10	108,589.33
2019	9	5,727.28	2,428.93	1.85	0.17	252,348.02	107,020.20	104,591.27
2020	10	6,068.05	2,339.50	1.96	0.18	267,362.73	103,079.91	100,740.41
2021	11	6,429.10	2,253.36	2.08	0.19	283,270.81	99,284.69	97,031.33
2022	12	6,811.63	2,170.40	2.20	0.20	300,125.43	95,629.21	93,458.81
2023	13	7,216.93	2,090.49	2.33	0.21	317,982.89	92,108.32	90,017.83
2024	14	7,646.33	2,013.52	2.47	0.22	336,902.87	88,717.06	86,703.54
2025	15	8,101.29	1,939.38	2.62	0.24	356,948.59	85,450.66	83,511.27
2026	16	8,583.32	1,867.98	2.77	0.25	378,187.03	82,304.52	80,436.54
2027	17	9,094.02	1,799.20	2.94	0.27	400,689.16	79,274.21	77,475.01
2028	18	9,635.12	1,732.96	3.11	0.28	424,530.17	76,355.48	74,622.52
2029	19	10,208.41	1,669.16	3.30	0.30	449,789.71	73,544.21	71,875.06
2030	20	10,815.81	1,607.70	3.49	0.32	476,552.20	70,836.45	69,228.75
			287,466.06			2,070,957.61		

REL. B/C	7.20
VPN	1,783,491.55
TIR	55.03%

Anexo C Análisis de factibilidad económica para las alternativas de cada uno de los segmentos

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA LA ALTERNATIVA:

9-2

TMCT (ESC. TENDENCIAL)	5.95 %		
TD	10 %		
COSTO UNITARIO PROMEDIO POR LESIONADO		US\$	100,000.00
COSTO UNITARIO PROMEDIO POR MUERTO		US\$	400,000.00

AÑO	HORIZONTE	COSTOS NO DESCONTADOS	COSTOS DESCONTADOS	LESIONADOS EVITADOS	MUERTOS EVITADOS	BENEFICIOS NO DESCONTADOS	BENEFICIOS DESCONTADOS	FLUJO NETO
2010	0	5,014,068.36	5,014,068.36	11.80	0.90			-5,014,068.36
2011	1	75,211.03	68,373.66	12.50	0.95	1,631,630.00	1,483,300.00	1,414,926.34
2012	2	79,686.08	65,856.27	13.25	1.01	1,728,711.99	1,428,687.59	1,362,831.33
2013	3	84,427.40	63,431.56	14.03	1.07	1,831,570.35	1,376,085.91	1,312,654.35
2014	4	89,450.83	61,096.12	14.87	1.13	1,940,548.78	1,325,420.93	1,264,324.81
2015	5	94,773.16	58,846.67	15.75	1.20	2,056,011.44	1,276,621.34	1,217,774.67
2016	6	100,412.16	56,680.05	16.69	1.27	2,178,344.12	1,229,618.46	1,172,938.42
2017	7	106,386.68	54,593.19	17.68	1.35	2,307,955.59	1,184,346.15	1,129,752.96
2018	8	112,716.69	52,583.17	18.74	1.43	2,445,278.95	1,140,740.68	1,088,157.51
2019	9	119,423.34	50,647.15	19.85	1.51	2,590,773.05	1,098,740.68	1,048,093.53
2020	10	126,529.02	48,782.42	21.03	1.60	2,744,924.04	1,058,287.04	1,009,504.63
2021	11	134,057.50	46,986.34	22.28	1.70	2,908,247.02	1,019,322.84	972,336.50
2022	12	142,033.92	45,256.38	23.61	1.80	3,081,287.72	981,793.23	936,536.84
2023	13	150,484.94	43,590.13	25.01	1.91	3,264,624.34	945,645.38	902,055.26
2024	14	159,438.79	41,985.22	26.50	2.02	3,458,869.49	910,828.44	868,843.22
2025	15	168,925.40	40,439.40	28.08	2.14	3,664,672.22	877,293.39	836,854.00
2026	16	178,976.46	38,950.49	29.75	2.27	3,882,720.22	844,993.05	806,042.55
2027	17	189,625.56	37,516.41	31.52	2.40	4,113,742.07	813,881.94	776,365.53
2028	18	200,908.29	36,135.12	33.40	2.55	4,358,509.73	783,916.29	747,781.16
2029	19	212,862.33	34,804.69	35.38	2.70	4,617,841.06	755,053.91	720,249.22
2030	20	225,527.64	33,523.25	37.49	2.86	4,892,602.60	727,254.20	693,730.95
			5,994,146.04				21,261,831.46	

REL. B/C	3.55
VPN	15,267,685.42
TIR	24.37%

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA LA ALTERNATIVA:

10-1

TMCT (ESC. TENDENCIAL) 5.95 %

TD 10 %

COSTO UNITARIO PROMEDIO POR LESIONADO US\$ 100,000.00

COSTO UNITARIO PROMEDIO POR MUERTO US\$ 400,000.00

AÑO	HORIZONTE	COSTOS NO DESCONTADOS	COSTOS DESCONTADOS	LESIONADOS EVITADOS	MUERTOS EVITADOS	BENEFICIOS NO DESCONTADOS	BENEFICIOS DESCONTADOS	FLUJO NETO
2010	0	291,041.97	291,041.97	0.60	0.00			-291,041.97
2011	1	4,365.63	3,968.75	0.64	0.00	63,570.00	57,790.91	53,822.15
2012	2	4,625.38	3,822.63	0.67	0.00	67,352.42	55,663.15	51,840.52
2013	3	4,900.59	3,681.89	0.71	0.00	71,359.88	53,613.74	49,931.85
2014	4	5,192.18	3,546.33	0.76	0.00	75,605.80	51,639.78	48,093.45
2015	5	5,501.12	3,415.76	0.80	0.00	80,104.34	49,738.49	46,322.73
2016	6	5,828.43	3,290.00	0.85	0.00	84,870.55	47,907.21	44,617.22
2017	7	6,175.22	3,168.87	0.90	0.00	89,920.35	46,143.36	42,974.49
2018	8	6,542.65	3,052.19	0.95	0.00	95,270.61	44,444.44	41,392.25
2019	9	6,931.94	2,939.82	1.01	0.00	100,939.21	42,808.08	39,868.26
2020	10	7,344.39	2,831.58	1.07	0.00	106,945.09	41,231.96	38,400.38
2021	11	7,781.38	2,727.33	1.13	0.00	113,308.33	39,713.88	36,986.55
2022	12	8,244.37	2,626.91	1.20	0.00	120,050.17	38,251.68	35,624.77
2023	13	8,734.91	2,530.19	1.27	0.00	127,193.16	36,843.33	34,313.13
2024	14	9,254.64	2,437.04	1.35	0.00	134,761.15	35,486.82	33,049.79
2025	15	9,805.29	2,347.31	1.43	0.00	142,779.44	34,180.26	31,832.95
2026	16	10,388.70	2,260.88	1.51	0.00	151,274.81	32,921.81	30,660.92
2027	17	11,006.83	2,177.64	1.60	0.00	160,275.67	31,709.69	29,532.04
2028	18	11,661.74	2,097.47	1.70	0.00	169,812.07	30,542.19	28,444.73
2029	19	12,355.61	2,020.24	1.80	0.00	179,915.89	29,417.68	27,397.44
2030	20	13,090.77	1,945.86	1.91	0.00	190,620.88	28,334.58	26,388.72
			347,930.65				828,383.04	

REL. B/C 2.38  
 VPN 480,452.39  
 TIR 14.20%





Carretera Querétaro-Galindo km 12+000  
CP 76700, Sanfandila  
Pedro Escobedo, Querétaro, México  
Tel +52 (442) 216 9777 ext. 2610  
Fax +52 (442) 216 9671

[publicaciones@imt.mx](mailto:publicaciones@imt.mx)

<http://www.imt.mx/>