

# EVALUACIÓN DE ALGUNOS RESULTADOS DEL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL DE LA AASHTO 2010

A. MENDOZA, G. SAUCEDO & E. ABARCA

Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte,  
Instituto Mexicano del Transporte, México

[mendoza@imt.mx](mailto:mendoza@imt.mx), [p232027@uach.mx](mailto:p232027@uach.mx), [eabarca@imt.mx](mailto:eabarca@imt.mx)

## RESUMEN

El Manual de Seguridad Vial de la AASHTO 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. Por otra parte, existen metodologías que permiten generar programas de mejoramiento de las carreteras en operación a través de la inspección de las mismas, que tienen objetivos similares y siguen principios y procedimientos análogos.

En este trabajo, para el tramo Ciudad Mendoza-Córdoba de la autopista de cuota Puebla-Córdoba, se aplican tanto la metodología del Manual de Seguridad Vial de la AASHTO como una auditoría o inspección de seguridad vial, y se comparan los resultados obtenidos a partir de ambas.

Las comparaciones que se efectúan son de los siguientes tipos:

- Contramedidas recomendadas entre metodologías.
- Costo de las contramedidas.
- Impacto estimado de las contramedidas, en términos de muertos y lesionados graves evitados.
- Alternativas más rentables entre metodologías.

A partir de los análisis efectuados se evalúa la aplicabilidad del Manual de Seguridad Vial de la AASHTO al caso de México y se presentan algunas conclusiones y recomendaciones.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Manual de Seguridad Vial de la AASHTO de 2010 (MSV) permite mejorar 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 [1]. En México, el MSV ya está siendo aplicado al mejoramiento de la seguridad vial de tramos carreteros.

También se han utilizado enfoques reactivos, como la atención de puntos de conflicto o “puntos negros”, que básicamente siguen pasos similares a los de la metodología del MSV (identificación de los “puntos negros”, diagnóstico, proposición de contramedidas, etc.). Asimismo, se han aplicado enfoques preventivos, como las auditorías de seguridad vial, que para el caso de carreteras en operación también suelen denominarse inspecciones de seguridad vial [2].

En este trabajo la metodología del MSV se aplica al tramo Ciudad Mendoza-Córdoba, el cual es un tramo de elevada accidentalidad de la autopista de cuota Puebla-Córdoba, que

es una de las más transitadas del país y eje de comunicación entre el altiplano y el sureste del país. Los resultados obtenidos se comparan contra los de una inspección de seguridad vial realizada al tramo, con el fin de evidenciar ventajas y desventajas de utilizar uno u otro enfoque.

Este trabajo se refiere específicamente al tramo entre los hitos kilométricos 257+000 (en las inmediaciones de Ciudad Mendoza) y 297+000 (en las inmediaciones de Córdoba). El tramo pertenece a la carretera federal de cuota Puebla-Córdoba, la cual es una carretera dividida, de 2 carriles por sentido, operada por el organismo gubernamental operador y administrador de carreteras de cuota “Camino y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE)”.

La ubicación del tramo se ilustra con color negro en la Figura 1, dentro del contexto de la carretera Puebla-Córdoba, cuyo trazo restante se ilustra con color rojo.



**FIGURA 1 Ubicación del Tramo Ciudad Mendoza-Córdoba**

## **2. APLICACIÓN DEL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL AL TRAMO**

Se describen los pasos del MSV, tal y como fueron realizados para el tramo.

### **2.1. 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 se describe lo realizado, para el tramo de interés, en relación con cada uno de los pasos anteriores.

#### **2.1.1 Objetivo**

Consiste en identificar el propósito o resultado deseado de la revisión del tramo. Infiere 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.

#### **2.1.2 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.

### 2.1.3 Medida de Desempeño

Para cuantificar la peligrosidad de cada segmento, CAPUFE utiliza el número de accidentes equivalentes (NAE), el cual se calcula para cada segmento de acuerdo con la siguiente expresión:

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

Donde: ACC = Número de accidentes por año, en promedio, en los últimos dos años,  
M = Número de muertos por año, en promedio, en los últimos dos años,  
H = Número de lesionados por año, en promedio, en los últimos dos años.

Para cada segmento 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 los años 2008 y 2009.

### 2.1.4 Método de Revisión

Una vez cuantificado el NAE de todos los segmentos de ambos sentidos, se utilizó como método de revisión la jerarquización de los segmentos por orden decreciente de su NAE, generándose la Tabla 1 la cual enlista los segmentos que resultaron con mayor NAE para cada sentido. En la primera columna de la tabla se menciona cada sentido, en la segunda el cadenamiento de cada segmento identificado, en la tercera el número anual promedio de accidentes registrado en los últimos dos años, en la cuarta y la quinta los números de lesionados y muertos correspondientes, en la sexta el NAE de cada segmento, en la séptima 7 el tránsito diario promedio anual (TDPA) registrado en Datos Viales 2009 [3] para el sentido correspondiente al segmento y en la octava un número secuencial dado a cada segmento según su posición en el cadenamiento, el cual crece de Ciudad Mendoza hacia Córdoba. En dicho número secuencial no influye el sentido, porque el cadenamiento es el mismo para los dos sentidos. La composición vehicular promedio en todos los segmentos es de 70% de vehículos ligeros, 5% de autobuses y 25% de camiones de carga.

### 2.1.5 Evaluación de Resultados

Como puede observarse en la Tabla 1, en el sentido Ciudad Mendoza-Córdoba se identificaron un mayor número de segmentos peligrosos, así como con mayor valor de NAE, en relación con el otro sentido.

**TABLA 1 Segmentos de 500 Metros por Sentido con Mayor NAE**

| SENTIDO               | SEGMENTO          | NÚMERO DE ACCIDENTES | NÚMERO DE LESIONADOS | NÚMERO DE MUERTOS | NAE | TDPA   | No. SECUENCIAL DE ACUERDO AL CADENAMIENTO |
|-----------------------|-------------------|----------------------|----------------------|-------------------|-----|--------|---|
| Cd. Mendoza -Córdoba  | 268.5≤ km < 269.0 | 40                   | 19                   | 0                 | 78  | 11,173 | 7   |
|                       | 267.5≤ km < 268.0 | 22                   | 20                   | 1                 | 68  | 7,619  | 5   |
|                       | 265.5≤ km < 266.0 | 26                   | 18                   | 0                 | 62  | 7,619  | 4   |
|                       | 265.0≤ km < 265.5 | 26                   | 18                   | 0                 | 62  | 7,619  | 3   |
|                       | 291.5≤ km < 292.0 | 25                   | 13                   | 1                 | 57  | 11,173 | 9   |
|                       | 264.5≤ km < 265.0 | 19                   | 13                   | 0                 | 45  | 7,619  | 2   |
|                       | 263.0≤ km < 263.5 | 6                    | 8                    | 0                 | 22  | 7,619  | 1   |
|                       | 272.0≤ km < 272.5 | 14                   | 3                    | 0                 | 20  | 11,173 | 8   |
| Córdoba - Cd. Mendoza | 267.5≤ km < 268.0 | 20                   | 16                   | 1                 | 58  | 10,926 | 6   |
|                       | 268.5≤ km < 269.0 | 10                   | 8                    | 1                 | 32  | 10,926 | 7   |
|                       | 296.5≤ km < 297.0 | 3                    | 8                    | 0                 | 19  | 12,380 | 10  |

Cabe también destacar que el segmento con cadenamiento 268.5≤ 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.

## 2.2. Diagnóstico para cada Segmento

El objetivo del diagnóstico es la identificación de las causas de los accidentes y problemas potenciales de seguridad o patrones de accidentes.

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 2008 y 2009, se generó la Tabla 2, en la que los accidentes promedio ocurridos en esos dos años en cada segmento, se clasifican según su severidad y tipo.

### 2.2.1 Segmento 1

El segmento se ubica en curva horizontal derecha con un grado de curvatura de 6°30' aproximadamente (para una velocidad de 70 km/h). Al final de la curva, se encuentra el acceso a Río Blanco y Nogales. El ancho de carriles se encuentra ligeramente por debajo de las dimensiones reglamentarias (menor a 3.5 m). El ancho de los acotamientos es insuficiente (menor a 0.5 m el interno y a 2.5 m el externo). El señalamiento horizontal en la zona de entrecruzamiento no es el adecuado para canalizar a los vehículos. El señalamiento vertical es escaso ya que faltan señales que indiquen la aproximación a una zona semiurbana y de entrecruzamiento de tránsito. Se carece de dispositivos que ayuden a delinear el trazo de la curva. 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 2. Se presenta un porcentaje considerable de vehículos que van por encima de las velocidades máximas que permite la visibilidad.

**TABLA 2 Clasificación de los Accidentes Promedio por Año en cada Segmento, según su Severidad y Tipo.**

| SENTIDO* | No. DE SEGMENTO | No. ACCIDENTES | ACCIDENTES SEGÚN SU SEVERIDAD |                     |            | TIPO DE ACCIDENTE** |   |   |   |   |   |   |   |     |     |     |     |     |    |    |    |    |
|----------|-----------------|----------------|-------------------------------|---------------------|------------|---------------------|---|---|---|---|---|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|
|          |                 |                | CON MUERTOS                   | SÓLO CON LESIONADOS | SOLO DAÑOS | 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 son como sigue:

- 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



**FIGURA 2 Barrera Central de Concreto Discontinua en el Segmento 1**

### 2.2.2 Segmento 2

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). El ancho de carriles se encuentra ligeramente por debajo de las dimensiones reglamentarias. El ancho de los acotamientos es insuficiente. 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). Los módulos de la barrera central de concreto, se encuentra impactados y en algunos casos sin la continuidad necesaria. En esta curva se carece de alguna rejilla interceptora de escurrimientos provenientes de la calzada del cuerpo con dirección hacia Córdoba, en la zona de la barrera central, por lo que dichos escurrimientos cruzan hacia el cuerpo del otro sentido provocando problemas en los vehículos que circulan por ese cuerpo en el lugar de la curva.



**FIGURA 3 Reducción de la Sección Transversal en el Puente en el Segmento 2**

### 2.2.3 Segmento 3

El segmento se ubica en curva horizontal izquierda con un grado de curvatura de  $5^{\circ}00'$  aproximadamente (para una velocidad de proyecto de 60 km/h). El ancho de carriles se encuentra ligeramente por debajo de las dimensiones reglamentarias. El ancho de los acotamientos es insuficiente, proporcionando al conductor sensación de estrechez, además de contar con un corte muy alto del lado del acotamiento externo. En este segmento se tienen problemas de caídos provenientes del talud de corte, esto se puede ser debido a inestabilidad del mismo talud (véase Figura 4). Algunos módulos de la barrera central de concreto en este segmento se encuentran impactados.



**FIGURA 4 Talud de Corte en el Segmento 3**

### 2.2.4 Segmento 4

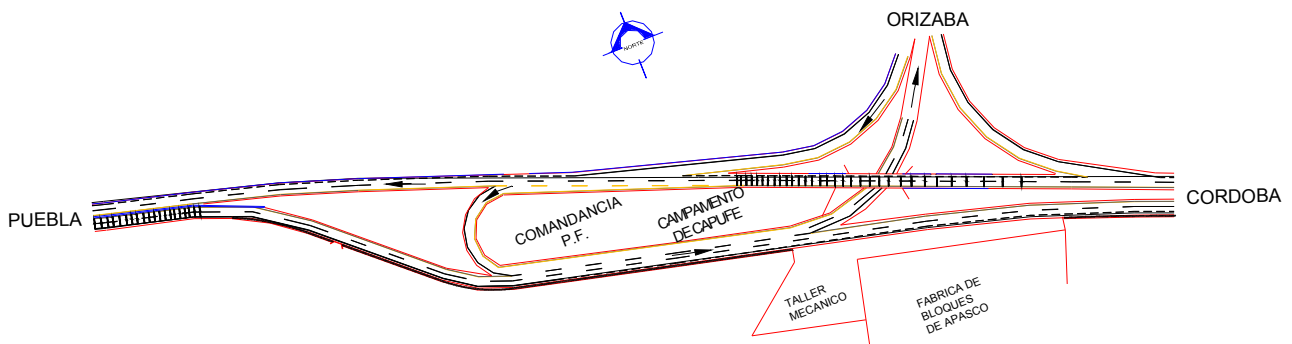
El segmento se ubica en curva horizontal derecha con un grado de curvatura de  $6^{\circ}00'$  aproximadamente (para una velocidad de proyecto de 60 km/h). El ancho de carriles se encuentra ligeramente por debajo de las dimensiones reglamentarias. El ancho de los acotamientos es insuficiente. El segmento no cuenta con dispositivos de protección en sus respectivas obras de drenaje (cunetas y alcantarillas). El señalamiento horizontal incluye marcas con espaciamiento logarítmico previo a la curva horizontal, que no cumplen con el espaciamiento adecuado, además de que se encuentra despintado. El señalamiento vertical es escaso. En cuanto a los dispositivos de contención, la barrera central de concreto que divide los cuerpos se encuentra en mal estado y no es continua en varios segmentos, como puede apreciarse en la Figura 5. La visibilidad en este segmento es muy reducida, no siendo la adecuada para las velocidades de operación observadas.



**FIGURA 5 Condición de la Barrera Central en el Segmento 4**

### 2.2.5 Segmento 5

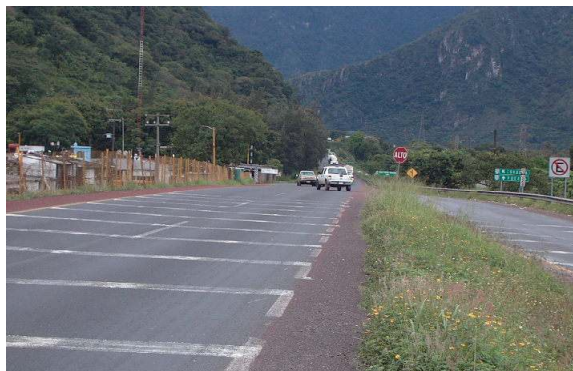
El segmento se ubica en curva horizontal derecha con un grado de curvatura de  $6^{\circ}00'$  aproximadamente (para una velocidad de proyecto de 60 km/h). El ancho de carriles se encuentra ligeramente por debajo de las dimensiones reglamentarias. El ancho de los acotamientos es insuficiente, además de contar con un corte bastante alto sobre el lado derecho. En este sitio se separan los cuerpos, para dar lugar a un campamento de CAPUFE, así como un destacamento de la Policía Federal (PF), correspondiendo este segmento al cuerpo de Puebla hacia Córdoba en la Figura 6. En este lugar se localiza un retorno, así como una gasa de salida que pasa por la parte inferior de un paso superior vehicular con destino hacia la ciudad de Orizaba. En este lugar se presentan accidentes por el entrecruzamiento de los vehículos que toman la gasa de salida hacia Orizaba con los que salen del retorno y se dirigen hacia Córdoba. En el señalamiento horizontal en el segmento se encuentran marcas con espaciamiento logarítmico que no cumplen con el espaciamiento adecuado, además de que se encuentra despintado. La visibilidad en este sitio es muy reducida, tanto para la curva así como para la zona de entrecruzamiento, siendo la visibilidad escasa para las velocidades de los vehículos que circulan de frente y/o se entrecruzan.



**FIGURA 6 Entrecruzamiento de Vehículos en el Segmento 5**

### 2.2.6 Segmento 6

El segmento se encuentra en el mismo sitio que el segmento anterior, pero sobre el cuerpo de Córdoba hacia Puebla en la Figura 6. Los anchos de carril y acotamientos están por debajo de las dimensiones reglamentarias. En este segmento coinciden, en un tramo muy corto, la incorporación del camino que viene de Orizaba, que carece de carril de aceleración; así como el entrecruzamiento de los vehículos provenientes de Orizaba que toman el retorno, con los que van de frente hacia Puebla. El señalamiento horizontal se encuentra en malas condiciones debido a la falta de mantenimiento y a que presenta baja reflectividad, tanto en las rayas separadoras de carriles, acotamientos y rayas logarítmicas (véase Figura 7).



**FIGURA 7 Señalamiento Horizontal en Malas Condiciones en el Segmento 6**



### 2.2.7 Segmento 7, Ambos Sentidos

Este segmento se encuentra ubicado en un tramo en recta con pendiente vertical descendente en el cuerpo con dirección hacia Córdoba y con pendiente ascendente en el cuerpo con dirección hacia Puebla. Los anchos de carril y acotamientos son los adecuados. En ambos cuerpos del segmento se encuentran ubicadas áreas de comercio y de servicio que conforman un paradero informal, siendo los principales usuarios los operadores de camiones de carga. Como se observa en la Figura 8, estos vehículos se estacionan en doble fila sobre el acotamiento, además de haber un paso continuo de peatones que cruzan la vía. No existe ningún elemento de contención que separe a los vehículos estacionados en los paraderos, del flujo normal de la vía; así como ningún puente peatonal o barrera que proteja a los peatones. El señalamiento horizontal se encuentra en malas condiciones. Se carece de algunos señalamientos verticales 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.



**FIGURA 8 Estacionamiento Irregular de Camiones de Carga en el Segmento 7**

### 2.2.8 Segmento 8

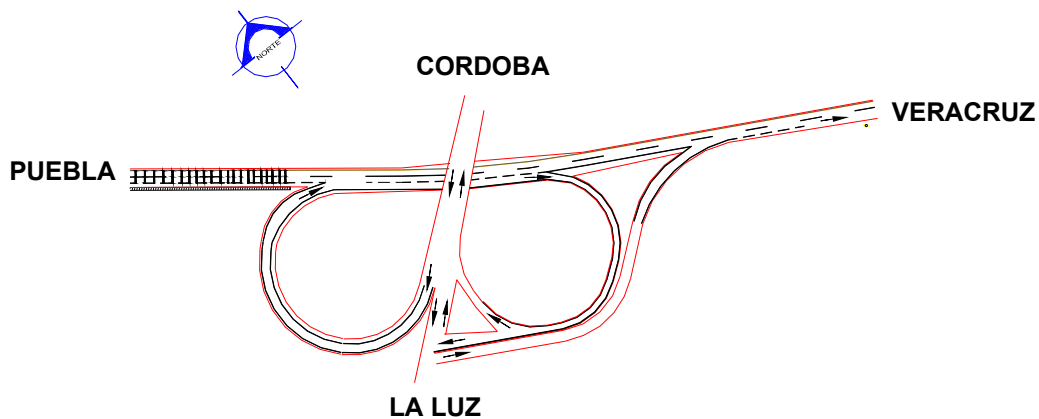
Este segmento se encuentra ubicado en un tramo en recta, donde se ubica una salida direccional hacia Jalapilla que cuenta con una transición para canalizar a los vehículos, seguido de una curva izquierda con un grado de curvatura de  $4^{\circ}10'$  (275 m de radio). La combinación de la curva y el estribo del paso superior representan un riesgo para los conductores que van a exceso de velocidad (véase Figura 9). No existen ni marcas ni elementos de protección para las estructuras, como es el caso en el estribo del paso superior vehicular.



**FIGURA 9 Trayectoria que se Proyecta hacia el Estribo Derecho del Segmento 8**

### 2.2.9 Segmento 9

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  $2^{\circ}06'$ , continuando con otra recta. Entre la primera recta y el inicio de la curva se encuentra la incorporación que viene de Córdoba y justo 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, con una distancia de 120 m para el entrecruzamiento. El ancho de carriles y acotamiento está por debajo de las dimensiones reglamentarias. El segmento funciona como un distribuidor vial en el que en la zona de entrecruzamiento se hacen colas para tomar la salida hacia Córdoba (véase Figura 10). Los vehículos de largo itinerario no disminuyen su velocidad a pesar de la existencia de las rayas logarítmicas. La combinación del estribo del paso superior y la curva izquierda representan un riesgo para los conductores que van a exceso de velocidad.



**FIGURA 10 Operación en el Segmento 9**

### 2.2.10 Segmento 10

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. Los vehículos que provienen de Amatlán se incorporan a la autopista con un ángulo tal que tienen una mínima visibilidad para poder incorporarse con seguridad, aunado al problema de la vegetación espesa y que no existe 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 11). El señalamiento horizontal es malo. Se carece de algunos señalamientos verticales preventivos, y de marcas y dispositivos de protección de las estructuras.



**FIGURA 11 Condiciones de la Incorporación a la Autopista en el Segmento 10**

### 2.3. Proposición de Contramedidas

Se realizó considerando los factores que contribuyen a los accidentes, según se evidencia en el diagnóstico y en la Tabla 2. La Tabla 3 resume las contramedidas propuestas para cada alternativa generada para cada segmento. En algunos segmentos se consideró suficiente una alternativa de baja envergadura constituida por medidas sencillas y económicas, en tanto que en otros más complejos se propuso una alternativa de este tipo así como otra que incluye además una obra de infraestructura de elevada inversión (p. ej. construcción de un puente, de un distribuidor vial, etc.). A manera de ejemplo de esta última, se presenta la Figura 12, la cual muestra la alternativa de alta inversión para los segmentos 5 y 6. Como puede observarse dicha alternativa se basa en la construcción de un distribuidor vial en el acceso principal a Orizaba.

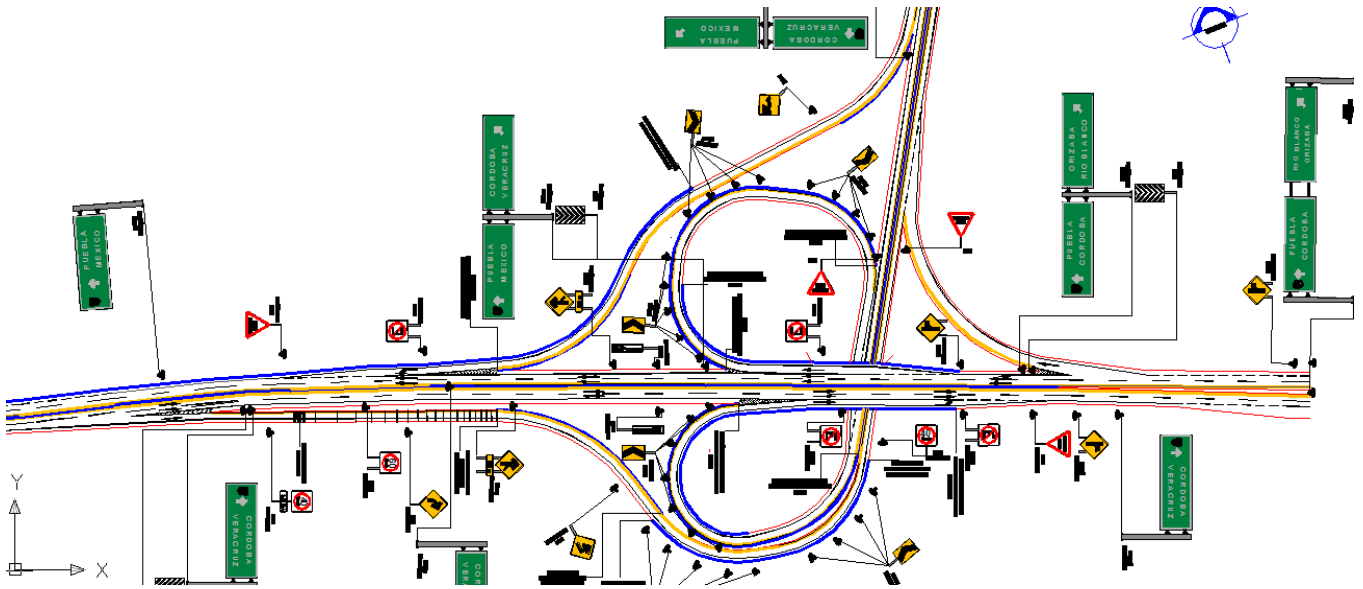
La Tabla 4 reproduce el costo de las alternativas de cada segmento (columna 3) y muestra el porcentaje de muertos y heridos graves evitados como resultado de la disminución de accidentes estimada según el MSV para cada alternativa (columna 4). Dicho porcentaje se aplicó a los saldos de muertos y heridos en la Tabla 1, obteniéndose la reducción en el número de muertos y heridos graves en el año base. Los beneficios anuales de implementar una alternativa se calcularon multiplicando dicha reducción obtenida por su respectivo costo social. Para los fines de este trabajo, se utilizaron costos unitarios promedio por herido grave y muerto, de 100 mil y 400 mil dólares [4]. La columna 5 de la Tabla 4 muestra el valor monetario de los beneficios así obtenidos, en el primer año de operación para cada alternativa de cada segmento. Posteriormente se estimaron el Valor Presente Neto (VPN), la Relación Beneficio-Costo (RBC) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), considerando un horizonte de análisis de 20 años, 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, y una tasa de descuento (TD) 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. Estos tres indicadores se muestran en las tres últimas columnas de la Tabla 4. Como es evidente, todas las alternativas resultan con una alta rentabilidad, pero la de alta inversión (alternativa 2) resulta menos rentable que la de baja inversión (alternativa 1) para los segmentos 5, 6 y 9, por lo que la selección de éstas ante las alternativas de baja envergadura deberá buscarse incorporando otros beneficios además del mejoramiento de la seguridad vial (reducción de demoras, emisiones contaminantes, etc.).

Con las medidas que resultan más rentables para todos los segmentos se obtiene una reducción en la frecuencia anual de muertos y heridos graves en el tramo de 10.34.

**TABLA 3 Contramedidas propuestas para cada alternativa de mejoramiento generada para cada segmento**

| SENTIDO* | SEGMENTO | ALTERNATIVA | CONTRAMEDIDAS   | COSTO TOTAL (US\$) |
|----------|----------|-------------|---|--------------------|
| CdM-C    | 1        | 1           | Mejoramiento del señalamiento horizontal, vertical, colocación de barrera central (New Jersey), barrera lateral metálica (triple onda), tiras de estruendo, losa de concreto, ampliación de carril y acotamiento.   | 231,837.42         |
| CdM-C    | 2        | 1           | Mejoramiento del señalamiento horizontal, vertical, colocación de barrera lateral metálica (triple onda), tiras de estruendo, de rejillas captadoras de agua en la barrera central, ampliación de carril, de acotamiento y de puente.                                       | 300,521.08         |
|          |          | 2           | Mejoramiento del trazo de la curva izquierda, del señalamiento horizontal, vertical, colocación de barrera lateral metálica (triple onda), tiras de estruendo, de rejillas captadoras de agua en la barrera central, ampliación de carril, de acotamiento y de puente.      | 364,601.15         |
| CdM-C    | 3        | 1           | Estabilización del talud lateral derecho, mejoramiento del señalamiento horizontal, vertical, tiras de estruendo, ampliación de carril y acotamiento.   | 89,892.02          |
| CdM-C    | 4        | 1           | Mejoramiento del señalamiento horizontal, vertical, colocación de barrera lateral metálica (triple onda), tiras de estruendo, de rejillas captadoras de agua en la barrera central, ampliación de carril y acotamiento.   | 103,531.04         |
|          |          | 2           | Mejoramiento del trazo de la curva derecha, del señalamiento horizontal, vertical, colocación de barrera lateral metálica (triple onda), tiras de estruendo, de rejillas captadoras de agua en la barrera central, ampliación de carril y acotamiento.                      | 199,531.15         |
| CdM-C    | 5        | 1           | Mejoramiento del señalamiento horizontal, vertical, colocación de tiras de estruendo, ampliación de carril y acotamiento.   | 79,434.12          |
|          |          | 2           | Distribuidor vial, mejoramiento del señalamiento horizontal, vertical, colocación de tiras de estruendo, ampliación de carril y acotamiento.  | 4,649,526.31       |
| C-CdM    | 6        | 1           | Implementación de carril de aceleración, mejoramiento del señalamiento horizontal, vertical, colocación de barrera lateral metálica (triple onda), tiras de estruendo, ampliación de carril y acotamiento.  | 135,844.55         |
|          |          | 2           | Distribuidor vial, mejoramiento del señalamiento horizontal, vertical, colocación de tiras de estruendo, ampliación de carril y acotamiento.  | 4,709,637.10       |
| CdM-C    | 7        | 1           | Implementación de carril de aceleración y desaceleración, mejoramiento del señalamiento horizontal, vertical, colocación de barrera lateral metálica (triple onda), tiras de estruendo, ampliación de carril y acotamiento, y suministro de aceras separadas de la calzada. | 359,164.70         |
| C-CdM    |          |             |   |                    |
| CdM-C    | 8        | 1           | Implementación de carril de desaceleración, mejoramiento del señalamiento horizontal, vertical, colocación de barrera lateral metálica (triple onda), tiras de estruendo, ampliación de carril y acotamiento.   | 144,201.04         |
| CdM-C    | 9        | 1           | Implementación de carril de aceleración, rehabilitación del pavimento, mejoramiento del señalamiento horizontal, vertical, colocación de barrera lateral metálica (triple onda), tiras de estruendo, ampliación de carril y acotamiento.                                    | 240,463.69         |
|          |          | 2           | Distribuidor vial, mejoramiento del señalamiento horizontal, vertical, colocación de barrera lateral metálica (triple onda), tiras de estruendo, ampliación de carril y acotamiento.  | 5,014,068.36       |
| C-CdM    | 10       | 1           | Estudio estructural de puente ferroviario, implementación de carril de aceleración y desaceleración, mejoramiento del señalamiento horizontal, vertical, colocación de tiras de estruendo, ampliación de carril y acotamiento.  | 291,041.97         |

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



**FIGURA 12 Propuesta de Distribuidor Vial a Orizaba**

**TABLA 4 Análisis de rentabilidad para las alternativas de cada segmento**

| SEGMENTO | ALTERNATIVA | COSTO TOTAL (US\$) | REDUCCIÓN DE MUERTOS Y HERIDOS GRAVES (%) | BENEFICIOS EN EL PRIMER AÑO DE OPERACIÓN (US\$) | RBC   | VPN (US\$)    | TIR     |
|----------|-------------|--------------------|---|---|-------|---------------|---------|
| 1        | 1           | 231,837.42         | 11.01                                     | 95,355.00                                       | 4.48  | 965,420.91    | 32.28%  |
| 2        | 1           | 300,521.08         | 8.19                                      | 116,545.00                                      | 4.23  | 1,159,439.64  | 30.13%  |
|          | 2           | 364,601.15         | 49.50                                     | 678,080.00                                      | 20.27 | 8,400,217.68  | 164.03% |
| 3        | 1           | 89,892.02          | 6.32                                      | 116,545.00                                      | 14.13 | 1,411,239.43  | 112.82% |
| 4        | 1           | 103,531.04         | 7.26                                      | 137,735.00                                      | 14.50 | 1,671,062.13  | 115.90% |
|          | 2           | 199,531.15         | 48.99                                     | 932,360.00                                      | 50.93 | 11,911,085.36 | 419.75% |
| 5        | 1           | 79,434.12          | 5.38                                      | 158,925.00                                      | 21.81 | 1,975,996.85  | 176.84% |
|          | 2           | 4,649,526.31       | 90.54                                     | 2,299,115.00                                    | 5.39  | 24,401,504.85 | 39.88%  |
| 6        | 1           | 135,844.55         | 7.26                                      | 169,520.00                                      | 13.60 | 2,046,623.97  | 108.40% |
|          | 2           | 4,709,637.10       | 90.54                                     | 1,917,695.00                                    | 4.44  | 19,359,346.21 | 31.91%  |
| 7        | 1           | 359,164.70         | 8.19                                      | 275,470.00                                      | 8.36  | 3,160,290.82  | 64.68%  |
| 8        | 1           | 144,201.04         | 7.26                                      | 21,190.00                                       | 1.60  | 103,740.30    | 6.79%   |
| 9        | 1           | 240,463.69         | 8.19                                      | 158,925.00                                      | 7.20  | 1,783,491.55  | 55.03%  |
|          | 2           | 5,014,068.36       | 90.54                                     | 1,631,630.00                                    | 3.55  | 15,267,685.42 | 24.37%  |
| 10       | 1           | 291,041.97         | 7.26                                      | 63,570.00                                       | 2.38  | 480,452.39    | 14.20%  |

### 3. INSPECCIÓN DE SEGURIDAD VIAL AL TRAMO

Se realizó una auditoría de etapa cuatro al tramo, también denominada inspección de seguridad vial [2], consistente en la recopilación de información base (planos de localización y trazo de la carretera, normatividad, datos viales, información de accidentes, etc.), la revisión y evaluación de dicha información (revisando el cumplimiento de la normativa, los sitios de concentración de accidentes o “puntos negros”, etc.), la inspección “in situ” del tramo con recorridos diurnos y nocturnos y el registro en listas de verificación de las deficiencias detectadas (en el señalamiento, la sección transversal, el drenaje, los dispositivos de contención, etc.) y la generación de programas de mejoras (masivas y prioritarias). La Tabla 5 resume las contramedidas generadas para cada segmento a través de este enfoque. La cuarta columna de la tabla presenta el porcentaje de reducción de muertos y heridos graves obtenido en este caso para cada segmento. Para la estimación de este porcentaje se utilizó la metodología iRAP [5], la cual considera el efecto de las contramedidas en los choques frontales, las salidas del camino y los choques laterales en intersecciones, considerando a los vehículos como tipo de usuario, ya que éste es el tipo de usuario para el que se realizan las comparaciones entre metodologías en este trabajo. Con el paquete de contramedidas recomendado para todos los segmentos se obtiene una reducción en la frecuencia anual de muertos y heridos graves en el tramo de 9.12.

Como es evidente a partir de la comparación entre las Tablas 3 y 5, por el enfoque de la metodología de las auditorías (que consiste en una revisión lineal, continua y de detección a simple vista de deficiencias), las contramedidas derivadas de éstas son más sencillas y generalmente más baratas que las surgidas de los análisis más detallados derivados de la aplicación del MSV. El cotejo entre el porcentaje de reducción de muertos y heridos para la alternativa de bajo costo en la cuarta columna de la Tabla 4 y el porcentaje equivalente en la cuarta columna de la Tabla 5, señala que se predicen impactos comparables entre ambas metodologías.

**TABLA 5 Contramedidas y resultados obtenidos para cada segmento a partir de la auditoría**

| SENTIDO* | SEGMENTO | CONTRAMEDIDAS   | REDUCCIÓN DE MUERTOS Y HERIDOS GRAVES (%) | COSTO TOTAL (US\$) | RBC   |
|----------|----------|---|---|--------------------|-------|
| CdM-C    | 1        | Colocación de barreras laterales derecha e izquierda, mejoramiento de la delineación y señalamiento en la intersección y mejoramiento del delineamiento general del segmento. | 7.2                                       | 42,213.38          | 17.86 |
| CdM-C    | 2        | Colocación de barreras laterales derecha e izquierda.   | 7.1                                       | 78,726.15          | 15.35 |
| CdM-C    | 3        | Colocación de barrera lateral izquierda.  | 2.9                                       | 47,235.69          | 14.46 |
| CdM-C    | 4        | Colocación de barreras laterales derecha e izquierda.   | 4.7                                       | 78,726.15          | 14.07 |
| CdM-C    | 5        | Colocación de barreras laterales derecha e izquierda.   | 1.0                                       | 47,235.69          | 5.82  |

|       |    |   |      |            |       |
|-------|----|---|------|------------|-------|
| C-CdM | 6  | Ampliación del acotamiento, colocación de barreras laterales derecha e izquierda y mejoramiento de la delineación y señalamiento en la intersección.        | 12.6 | 218,010.77 | 12.86 |
| CdM-C | 7  | En ambas direcciones se proponen la colocación de barrera central y barreras laterales derecha e izquierda, y suministro de aceras separadas de la calzada. | 8.4  | 508,570.92 | 4.32  |
| C-CdM |    |   |      |            |       |
| CdM-C | 8  | Colocación de barrera central y barreras laterales derecha e izquierda.   | 23.5 | 175,559.31 | 5.26  |
| CdM-C | 9  | Colocación de barreras laterales derecha e izquierda.   | 3.6  | 125,961.85 | 5.24  |
| C-CdM | 10 | Colocación de barreras laterales derecha e izquierda y el mejoramiento de la delineación y señalamiento en la intersección.                                 | 12.7 | 167,141.69 | 7.96  |

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

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Por la naturaleza del enfoque de cada metodología, los resultados obtenidos de la aplicación del MSV, en el caso de carreteras en operación, son generalmente más detallados y precisos que los derivados de una auditoría de seguridad vial. Por la misma razón, en tanto el MSV conduce a considerar alternativas tanto de baja como de alta envergadura, las derivadas de la auditoría básicamente corresponden a acciones de baja envergadura (aunque de la inspección visual de problemas complejos en las auditorías surge generalmente la recomendación de realizar estudios adicionales de mayor detalle para resolver esos problemas). La estimación del impacto de las contramedidas entre metodologías resultó comparable. El costo de las contramedidas derivadas de la auditoría es generalmente menor que el de las alternativas derivadas de la aplicación del MSV (incluso para las alternativas de baja envergadura).

En tanto los valores de los factores de modificación de accidentes (“crash modification factors” o CMFs) resultaron razonables, la predicción de la frecuencia anual de accidentes subestimó de manera muy notable la frecuencia real de accidentes ocurrida en cada segmento. Por esta razón, se recomienda enfáticamente utilizar la metodología del MSV sobre la base de frecuencias reales de accidentes, en vez de sobre las obtenidas con las funciones de comportamiento de la seguridad (“safety performance functions” o SPFs).

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).

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.

#### REFERENCIAS

1. AASHTO (2010). Highway Safety Manual, 1<sup>st</sup>. Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington, DC.
2. AusRoads (2002). Road Safety Audit, Association of Australian and New Zealand Road Transport and Traffic Authorities (AusRoads), Sidney, Australia, 2nd. Edition.
3. DGST (2010). Datos Viales 2009, Dirección General de Servicios Técnicos (DGST), Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Subsecretaría de Infraestructura, Ciudad de México.
4. Rivera C. y A, Mendoza (2009). Análisis Costo-Beneficio y Costo-Efectividad de las Medidas de Seguridad Implementadas en Carreteras Mexicanas, Publicación Técnica No. 319, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro.
5. iRAP (2009). Programa Internacional de Evaluación de Carreteras (iRAP), [http://www.irap.net/media/1772/EIICYC\\_WEB%20ES.pdf](http://www.irap.net/media/1772/EIICYC_WEB%20ES.pdf).