



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO
EN INGENIERIA**

**PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE
LA SEGURIDAD VIAL DE UNA
CARRETERA DE ELEVADA
ACCIDENTALIDAD UTILIZANDO
TECNOLOGIAS ITS**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERIA

(TRANSPORTE)

P R E S E N T A :

ANTONIO GARCIA CHAVEZ

TUTOR: DR. JOSE DE JESUS ACOSTA FLORES
COTUTOR: DR. ALBERTO MENDOZA DIAZ

CIUDAD UNIVERSITARIA 2011

Agradecimientos

A DIOS por haberme permitido nacer, vivir, tener una familia, y por darme fuerza para continuar luchando por ser un mejor ser humano.

A mi Padre y a mi Madre, porque con su amor, fortaleza y sabiduría han formado parte del impulso para llegar hasta donde hoy me encuentro.

A Lupita mi amada esposa, compañera y madre de nuestras dos hijas, por su amor y apoyo incondicional para todas las iniciativas y tareas que emprendo.

A mis hermanas “Nohemí y Norma Leticia” y toda nuestra familia, por sus deseos de que mi barco llegue a aguas tranquilas.

A nuestras hijas “Susana y Regina”, tesoros prestados por “DIOS” para impulsar mi vida, por su amor, comprensión y cariño.

A todas las personas que a lo largo de mi vida me han dado consejos, apoyo, enseñanzas y palabras de aliento.

A mis maestros por compartir sus conocimientos y experiencias.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, “*Alma Mater*” y a la Universidad Autónoma de Coahuila, por incidir en mi formación.

Al Instituto Mexicano del Transporte, por permitirme ser parte de su equipo de trabajo.

A.M.D.G

Resumen

Actualmente existe una gran preocupación del Gobierno Federal a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes por mejorar la Seguridad Vial en las Carreteras Federales libres, dado que lo correspondiente a las autopistas de cuota está siendo atendido por los operadores de infraestructura concesionada como son Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE) y los demás operadores de infraestructura concesionada de cuota entre los que destacan IDEAL, ICA, OHL, ISOLUX, entre otros. Una gran oportunidad para mejorar de manera eficiente la operación y seguridad del transporte nacional la brindan el advenimiento de las tecnologías ITS y de la Arquitectura Nacional ITS. Por ello, se analizan los ITS con mayor potencial de aplicación, partiendo de las condiciones actuales del transporte en México, así como los niveles de competitividad requeridos para participar con éxito en los mercados globalizados y cadenas logísticas mundiales y se identifica un panorama global de las tecnologías y aplicaciones ITS existentes. Asimismo se realiza la identificación, análisis, evaluación e implantación de tecnologías ITS relacionadas con la seguridad vial y el plan de implantación de los servicios, incluyendo un análisis costo beneficio así como la identificación de los proveedores de las tecnologías recomendadas.

Palabras clave: Sistemas Inteligentes de Transporte, ITS, Seguridad Vial, Transporte, Infraestructura, Costo-Beneficio, Implantación de Tecnologías.

CONTENIDO

	Página
Agradecimientos	2
Resumen	3
1. Introducción	6
1.1 Antecedentes	6
1.2 Objetivo	7
1.3 Alcances	7
1.4 Metodología	8
1.5 Actividades	9
1.5 Organización de la tesis	9
2. Antecedentes	11
2.1 Muertes en accidentes de tráfico a nivel nacional	11
2.2 Situación de la seguridad vial en la Red Carretera Nacional	16
2.3 Los Sistemas Inteligentes de Transporte y sus aplicaciones	20
2.3.1 Antecedentes	20
2.3.2 Los ITS y su arquitectura	21
2.3.3 Clasificación	23
2.3.4 ITS con mayor potencial de aplicación	24
3. Selección del tramo demostrativo	35
3.1 Análisis de la Red Federal libre de peaje	35
3.2 Saldos de accidentes a nivel nacional	35
3.3 Otros datos operativos	37
4. Diagnóstico	38
4.1 Análisis de accidentalidad en el tramo	38
4.2 Visita de campo al tramo	65
4.3 Generación de diagnóstico	75
5. Propuesta de mejoramiento	89
5.1 Elección de tecnologías ITS	89

	Página
5.2 Esquemas de mejora	112
5.3 Alternativas de solución	116
6. Análisis de Factibilidad Económica	126
6.1 Flujo Anual de Costos	127
6.2 Flujo Anual de Beneficios	129
6.3 Indicadores de Factibilidad	130
6.3 Análisis de Sensibilidad	130
7. Conclusiones	138
8. Referencias	140

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

*“El oficio del hombre es siempre perfeccionarse,
educarse, completarse, superarse a sí mismo.”
N.Irala*

1.1 Antecedentes

El Gobierno Federal, a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) coordinó la elaboración de una Arquitectura Nacional de Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS) para México, mediante un subsidio de la Agencia de Comercio y Desarrollo de los Estados Unidos (USTDA por sus siglas en inglés) [Referencia 1]. El objetivo clave de ese estudio fue desarrollar un plan de implantación de los ITS orientado a las necesidades del transporte nacional.

Un ITS se define como un grupo de sistemas que utilizan tecnologías de comunicación e información avanzada para mejorar los servicios de transporte para los viajeros y carga. La arquitectura nacional de ITS coordina la gestión y operación de varias instalaciones de transporte para apoyar el movimiento de bienes y pasajeros. Entre sus beneficios está mejorar la respuesta a incidentes, notificar a conductores para reducir o evitar accidentes y mejorar las operaciones del tránsito.

Por otra parte, existe una gran preocupación de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes por mejorar la seguridad vial en las Carreteras Federales libres, dado que lo correspondiente a las autopistas de cuota está siendo atendido por Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE) y los demás operadores de infraestructura concesionada de cuota.

Una gran oportunidad para mejorar de manera eficiente la operación y seguridad del transporte nacional la brindan el advenimiento de las tecnologías ITS y de la Arquitectura Nacional ITS. Por ello, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes tiene el interés de explorar la temática y emprender un proyecto demostrativo que abarque la identificación, análisis, evaluación e implantación de tecnologías ITS relacionadas con la seguridad. Como respuesta a ese interés se propone el desarrollo de esta tesis, con el fin de plantear dicho proyecto dirigido específicamente a identificar un tramo de la Red Carretera Federal (RCF) libre en el que sea conveniente la realización del proyecto demostrativo, el análisis y

diagnos de las causas de la accidentalidad en ese tramo, el planteamiento de tecnologías ITS para mitigar los problemas identificados en el diagnóstico y la evaluación económica de ese planteamiento (beneficio-costo o beneficio-efectividad) [Referencia 2].

1.2 Objetivo

Esta tesis tiene como objetivo principal, identificar y seleccionar un tramo carretero de la Red Carretera Federal libre conveniente para efectuar un proyecto demostrativo de identificación, análisis, evaluación e implantación de tecnologías ITS relacionadas con la seguridad, efectuando el diagnóstico de las causas de la accidentalidad en ese tramo, el planteamiento de tecnologías ITS para mitigar los problemas identificados en el diagnóstico y la evaluación económica de ese planteamiento.

1.3 Alcances

Los alcances de esta tesis son:

- El planteamiento de los criterios para la identificación del tramo demostrativo;
- Identificación del tramo a partir de la accidentalidad en toda la Red Carretera Federal libre, aplicando los criterios planteados en el punto anterior;
- Análisis del histórico de accidentes en el tramo y generación de diagnóstico;
- Selección de tecnologías ITS para mitigar los principales problemas detectados en el diagnóstico;
- Convocatoria a proveedores de tecnologías ITS y otros agentes involucrados para realizar la especificación detallada de las tecnologías seleccionadas en el punto anterior, así como para estimar los impactos de las mismas en el mejoramiento de la seguridad y sus costos de adquisición e implementación; y
- Análisis de la factibilidad económica del planteamiento general de mejoramiento derivado de los dos puntos anteriores.

1.4 Metodología

La metodología está constituida por los siguientes pasos:

- 1.- **Recopilación de antecedentes.** Consiste en la recopilación de toda la información existente que se considere relevante para el desarrollo del trabajo, tal como accidentes en la Red Carretera Federal libre en los últimos años, proyecto de desarrollo de la Arquitectura ITS para México, tecnologías ITS existentes en el mercado y relevantes para este estudio, etc.
- 2.- **Selección de tramo demostrativo.** Se refiere al desarrollo de un conjunto de criterios para seleccionar el tramo de la Red Carretera Federal libre, en el que sea más conveniente realizar el proyecto demostrativo. En la realización de este paso se tomarán en cuenta las bases de datos históricas de accidentes en la RCF libre, de que dispone el Instituto Mexicano del Transporte (IMT).
- 3.- **Análisis de accidentalidad en el tramo.** Consiste en el análisis detallado de los reportes de accidentes en el tramo, incluyendo desde la obtención de estadísticas hasta la identificación de sitios de concentración de accidentes, la identificación de causas más comunes de los accidentes y la generación de algunas observaciones que eventualmente pudiesen pasar a formar parte del diagnóstico.
- 4.- **Visitas de campo al tramo.** Se refiere a la realización de visitas de campo al tramo con objeto de observar de forma directa la problemática, así como recopilar información detallada sobre las características físicas y de operación vial.
- 5.- **Generación del diagnóstico.** Consiste en el examen cuidadoso de toda la información disponible hasta el momento, con el fin de determinar la naturaleza de los problemas y cómo solucionarlos. Para ello, se jerarquiza la información de las bases de datos y de las visitas de campo para determinar los sitios de concentración de accidentes, tipos de accidente y se identifican los factores predominantes y/o las características del camino que ocasionan los accidentes.
- 6.- **Desarrollo de planteamiento de mejoramiento con base en tecnologías ITS.** Incluye la selección de tecnologías ITS para mitigar los principales problemas detectados en el diagnóstico, así como la convocatoria a proveedores de tecnologías ITS y otros agentes involucrados para realizar la

especificación detallada de las tecnologías seleccionadas, así como para estimar los impactos de las mismas en el mejoramiento de la seguridad y sus costos de adquisición e implementación; y

7.- Análisis de factibilidad económica del planteamiento de mejoramiento. Se refiere a la evaluación económica del planteamiento de mejoramiento propuesto, a través de cualquiera de los dos principales métodos que se utilizan para ello: Análisis Costo Beneficio (ACB) y el Análisis Costo Efectividad (ACE).

1.5 Actividades

A cada uno de los pasos descritos en la sección anterior corresponde una actividad, más una adicional referente a la escritura de la tesis, incluyendo la integración de croquis, planos y archivos electrónicos conforme a lo estipulado en la metodología.

1.6 Organización de la Tesis

Esta tesis tiene el siguiente orden de presentación:

- Este *Capítulo 1* presenta la introducción, incluyendo algunos antecedentes, el objetivo de la tesis, los alcances, la metodología, etc.
- El *Capítulo 2* describe los antecedentes tanto de la problemática del fenómeno de los accidentes en México y el mundo así como algunos aspectos generales de los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) así como de la Arquitectura ITS México.
- En el *Capítulo 3* se presenta el proceso de selección del tramo demostrativo.
- El *Capítulo 4* describe la generación del diagnóstico fundamentado en el análisis de la accidentalidad del tramo, así como del proceso de obtención de los datos a partir de los trabajos de campo e información base requerida.

- El *Capítulo 5* presenta la propuesta de mejoramiento y la utilización de tecnologías ITS para mitigar las principales problemáticas detectadas.
- El *Capítulo 6* se describe el análisis de factibilidad, Beneficio-Costo.
- En el *Capítulo 7* se comentan algunas conclusiones y recomendaciones para la atención de la problemática detectada en el tramo representativo en estudio.
- Finalmente se presentan las referencias bibliográficas de apoyo.

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES

*"No hay vidas pequeñas: cuando la miramos de cerca,
toda
vida es grande."
Maurice Maeterlinck*

2.1 Muertes en Accidentes de Tráfico a Nivel Nacional

El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) proporciona estadísticas generadas a partir de información sobre las defunciones ocurridas anualmente en el país, clasificadas según sus diferentes causas [Referencia 3]. Esta información se obtiene a partir de los certificados de defunción, puestos en operación a nivel nacional por la Secretaría de Salud desde 1987 [Referencia 4].

Dentro de las causas consideradas en esta fuente de información se encuentran los accidentes de tráfico de vehículos de motor (código E49B). La Tabla 1 presenta, en su segunda columna, la evolución del número de muertes atribuidas a esos accidentes, entre 1998 y 2009. La Tabla 1 también muestra, en su tercera y quinta columnas, las evoluciones de la población mexicana y del parque vehicular entre esos años, obtenidas del INEGI [Referencia 3].

En la Tabla 1 se muestra que en el año 2009 se registraron 17,816 muertes en accidentes de tráfico de vehículos de motor. Esta cifra no incluye las muertes ocurridas dentro de los 30 días posteriores al accidente como resultado de las lesiones sufridas en el mismo y que fueron registradas en los certificados de defunción como ocasionadas por otras causas diferentes. Para tomar en cuenta este efecto, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) recomienda utilizar un factor de actualización de 1.3 [Referencia 5], con lo cual se obtiene un estimado de alrededor de 23,161 muertes atribuibles a esa causa en el año 2009.

Si la cifra de 17,816 muertes se combina con la población de 107.6 millones de habitantes existente en el país en 2009, se obtiene un índice de 16.6 muertes por cada 100 mil habitantes, también conocido como **"riesgo de salud"**. La Tabla 1 también presenta, en su cuarta columna, la evolución de este índice, calculado bajo los principios antes mencionados, es decir, considerando el factor de actualización para las muertes de 1.3.

Si la cifra de 17,816 muertes se combina con el parque vehicular de 30.9 millones

de vehículos de motor en 2009, se obtiene un índice de 57.7 muertes por cada 100 mil vehículos de motor, también conocido como “**riesgo de tránsito**”. La Tabla 1 muestra, en su sexta columna, la evolución de este índice para la cifra de muertes expandida según el factor de actualización de 1.3.

En México, durante 2009, las estadísticas oficiales reportaron un total de 4 millones de accidentes, ocasionando 190 mil lesionados y 17,816 víctimas mortales. La cifra anterior de muertes anuales proviene de las actas de defunción y corresponde, por lo tanto, a un periodo ilimitado siguiente al accidente.

TABLA 1.- Series Evolutivas Relacionadas con la Seguridad Vial a Nivel Nacional

Año	Muertes en accidentes de tráfico de vehículos de motor	Población (millones)	“Riesgo de salud” (muertes por cada 100 mil habitantes)	Parque vehicular (millones)	“Riesgo de tránsito” (muertes por cada 100 mil vehículos de motor)
1998	11,541	92.8	16.2	14.3	105.1
1999	11,659	94.4	16.1	15.1	100.2
2000	10,352	96.0	14.0	16.5	81.5
2001	14,012	97.6	18.7	18.3	99.3
2002	14,625	99.3	19.1	20.0	94.9
2003	14,911	100.9	19.2	21.0	92.3
2004	15,024	102.6	19.0	22.4	87.3
2005	15,972	104.4	19.9	23.7	87.5
2006	16,767	106.1	20.5	25.1	86.9
2007	15,344	105.8	14.5	27.1	73.6
2008	17,058	106.7	16.0	29.3	58.2
2009	17,816	107.6	16.6	30.9	57.7
2030	31,243	149.5	20.9	123.4	25.3
Tasa media de crecimiento anual (%)	2.80	1.53	2.60	6.80	-3.74

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2010.

Las muertes por accidentes viales crecen a una tasa media anual de alrededor del 3%. Se estima que los costos totales que generaron los accidentes de tránsito en México en 2009 superan los 10 mil millones de dólares, que es alrededor de 1.8% del PIB de ese año. Alrededor de 750 mil personas resultaron hospitalizadas como resultado de esos accidentes, y entre 30 y 40 mil con discapacidad [Referencia 6].

La tasa media de crecimiento anual (TMCA) de las muertes es 2.80%. A partir del modelo ajustado, y suponiendo que la tendencia seguirá de la misma forma, se obtuvo un estimado de 31,243 para el 2030, es decir, alrededor de 75% más en relación con el valor actual.

De mantenerse las tendencias, el elevado crecimiento anual de las muertes (2.80%), en combinación con un menor crecimiento de la población (1.53%), prácticamente incrementarán en 26% el problema de salud pública ocasionado por los accidentes viales al 2030 ($20.9/16.6=1.26$).

Alternativamente, el acelerado crecimiento anual del parque vehicular (6.80%), en combinación con el menor crecimiento de las muertes (2.80%), harán descender el “riesgo de tránsito” en 2030 a alrededor del 44% de su valor en 2009 ($25.3/57.7=0.44$). Esto se debe a que el índice de motorización social (habitantes por vehículo) pasará de 3.5 en 2009 ($107.6/30.9$) a 1.21 en 2030 ($149.5/123.4$). Este último valor es similar al de Estados Unidos ($300 \text{ millones de habitantes}/250 \text{ millones de vehículos}=1.2$).

Con base en la cifra de muertes y los índices obtenidos, en la Tabla 2 se compara la posición de México. Las cifras de muertes en la Tabla 2 consideran un lapso ilimitado siguiente al accidente para México y un seguimiento de 30 días a la evolución de los lesionados en general para los demás países (aplicando en varios casos un factor de actualización de 1.3 a la cifra de muertos en el sitio del accidente, según recomendaciones de la Organización de las Naciones Unidas (ONU); también se presenta un índice de jerarquización de los países, de acuerdo con la cifra de muertes de 2009 así como de cada uno de los dos índices obtenidos.

Con base en la cifra de muertes y los índices obtenidos, en la tabla 2 se compara la posición de México. Las cifras de muertes en la Tabla 2 consideran un lapso ilimitado siguiente al accidente para México y un seguimiento de 30 días a la evolución de los lesionados en general para los demás países aplicando en varios casos un factor de actualización de 1.3 a la cifra de muertos en el sitio del

accidente, según recomendaciones de la Organización de las Naciones Unidas (ONU); también se presenta un índice de jerarquización de los países, de acuerdo con la cifra de muertes de 2009 así como de cada uno de los dos índices obtenidos.

Puede observarse que, en términos de muertes, México ocupa el tercer peor lugar, después de Brasil y EUA que tienen más de 39 mil y 33 mil muertes, respectivamente. En términos del **“riesgo de salud”**, México ocupa el duodécimo peor lugar; en términos del **“riesgo de tránsito”**, México ocupa el decimoctavo lugar, y está menos bien que Costa Rica, Alemania, EUA y Francia. Los tres últimos renglones en la Tabla 2 presentan las cifras de Alemania, Estados Unidos y Francia, que están más avanzados en el tratamiento de la siniestralidad vial. Puede verse que los índices (**“riesgo de salud”** y **“riesgo de tránsito”**) de estos tres países, en general son menores que los de los países de Latinoamérica.

TABLA 2.- Índices de Siniestralidad de Países Latinoamericanos

País	Muertes en accidentes de tráfico de vehículos de motor	Jerar-quización	“Riesgo de salud” (muertes por cada 100 mil habitantes)	Jerar-quización	“Riesgo de tránsito” (muertes por cada 100 mil vehículos de motor)	Jerar-quización
Argentina	10,569	4	26.33	3	112.57	14
Bolivia	1,025	17	9.83	19	113.26	13
Brasil	39,200	1	20.33	9	153.61	10
Chile	2,121	13	12.41	16	62.84	17
Colombia	7,318	5	16.08	13	143.49	11
Costa Rica	527	22	11.55	18	57.28	19
Cuba	952	18	8.47	20	222.87	5
Ecuador	3,884	10	27.16	1	428.86	1
El Salvador	1,472	15	22.28	7	218.07	6
Guatemala	3,510	11	24.17	6	180.00	9
Honduras	1,380	16	17.15	10	191.67	7
México	17,816	3	16.2	12	57.70	18
Nicaragua	709	20	12.19	17	225.08	4
Panamá	561	21	16.47	11	126.78	12
Paraguay	1,688	14	26.38	2	321.65	3
Perú	4,640	7	15.57	14	329.08	2
Rep. Dominicana	2,555	12	25.89	4	93.43	15
Uruguay	739	19	22.02	8	72.45	16
Venezuela	7,300	6	25.32	5	185.71	8
Alemania	4,152	9	5.05	22	7.94	22
EEUU	33,808	2	12.43	15	15.48	20
Francia	4,273	8	7.26	21	13.07	21

Fuente: Instituto de Seguridad y Educación Vial (ISEV), (2011)

2.2. Situación de la Seguridad Vial en la Red Carretera Federal

Desde hace varios años, el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) ha venido generando diversas herramientas para la adquisición y administración de la información de los accidentes viales ocurridos en las Carreteras Federales, que le han permitido publicar un anuario estadístico de accidentes. Los anuarios publicados desde 1997 hasta la fecha han hecho posible dar seguimiento a la evolución de la seguridad vial en la Red Carretera Federal (RCF) entre esos años.

Los análisis que se presentan provienen primordialmente de los registros de los accidentes ocurridos en la RCF, que realiza la Policía Federal (PF). Esta información se carga y se procesa en un programa computacional elaborado por el IMT, denominado Sistema para la Adquisición y Administración de Datos de Accidentes (SAADA) [Referencia 7].

La Tabla 3 muestra, para los años de 1996 al 2006, la evolución del número anual de accidentes viales, de los lesionados, de los muertos, del monto de los daños materiales y de los vehículos-kilómetro recorridos en la RCF. Las tres últimas columnas de la Tabla 3 muestran la evolución de los índices de accidentes, lesionados y muertos por cada 100 millones de vehículos-kilómetro (accidentalidad, morbilidad y mortalidad), respectivamente.

El penúltimo renglón de la Tabla 3 indica que en 2006 se recorrieron del orden de 115,495.97 millones de vehículos-kilómetro, en los 55,037 km de carreteras vigiladas por la Policía Federal (PF).

El último renglón de la Tabla 3 presenta la tasa media de crecimiento anual (TMCA) estimada para la secuencia histórica de las variables incluidas. Llama la atención el consistente mejoramiento de la siniestralidad en la RCF, particularmente en términos de algunas variables para las que la TMCA resultó con un valor negativo muy elevado (número de accidentes e índices), a pesar del considerable crecimiento de la actividad vehicular en la red (TMCA=4.29%).

Una de las metas del Programa Nacional de Infraestructura 2007-2012 es reducir el índice de accidentes de 47 a 25 por cada 100 millones de vehículos-kilómetro [Referencia 7]. Como es evidente a partir del valor en la sexta columna del último renglón en la Tabla 3, para el tránsito en la RCF dicha meta ya se alcanzó en el año 2006

TABLA 3.- Evolución de la Accidentalidad en la RCF entre 1996 y 2006

Año	Accidentes	Lesionados	Muertos	Vehículos- kilómetro (millones)	ÍNDICES (por cada 100 millones de vehículos-kilómetro)		
					Accidentalidad	Morbilidad	MORTALIDAD
1996	58,158	33,325	4,810	73,666.6	78.9	45.2	6.5
1997	61,147	34,952	5,117	78,908.5	77.5	44.3	6.5
1998	60,951	35,086	4,276	82,319.4	74.0	42.6	5.2
1999	60,507	36,528	4,726	86,000.0	70.4	42.5	5.5
2000	61,115	38,434	4,558	88,292.0	69.2	43.5	5.2
2001	57,426	38,676	4,217	94,204.8	61.0	41.1	4.5
2002	42,614	35,480	4,320	91,406.1	46.6	38.8	4.7
2003	33,041	31,477	4,607	101,304.8	32.6	31.0	4.5
2004	30,668	31,274	4,687	105,816.8	29.0	29.6	4.4
2005	29,468	31,172	4,581	110,938.7	26.6	28.1	4.1
2006	28,972	31,021	4,326	115,496.0	25.1	26.9	3.7
TMCA (%)	-9.98	-2.02	-0.61	4.29	-13.68	-6.04	-4.87

Fuente: Elaboración propia con base en información de la PF y de la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT (DGST)

La Tabla 4 se generó a partir de las cifras de la Tabla 3. En la Tabla 4 se aprecia el costo de los accidentes por año, en dólares americanos, considerando un costo unitario promedio de 400 mil dólares americanos por muerto y 12 mil dólares americanos por lesionado [Referencia 8]. Adicionalmente, se calculó el índice de costo de los accidentes por millón de vehículos-kilómetro.

TABLA 4.- Evolución del Costo de los Accidentes en la RCF entre 1996 y 2006

Año	Costo de los accidentes (miles de dólares americanos)	Costo de los accidentes por millón de vehículos-kilómetro (dólares americanos)
1996	2,425,516	32,926
1997	2,534,293	32,117
1998	2,570,242	31,223
1999	2,643,513	30,739
2000	2,748,181	31,126
2001	2,727,218	28,950
2002	2,552,045	27,920
2003	2,357,563	23,272
2004	2,329,979	22,019
2005	2,330,611	21,008
2006	2,268,569	19,642
2007	2,699,940	21,455
2008	2,686,805	20,250
2009	2,440,427	17,959

Fuente: Elaboración propia con información de la PF y de la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT.

En la tabla es evidente que tanto el costo de los accidentes como el costo de los accidentes por millón de vehículos-kilómetro, han venido disminuyendo entre los años considerados. Cabe destacar que el costo de los accidentes para el año 2006 en la Tabla 4 representa alrededor de 0.36% del PIB de ese año. Representa también alrededor de 5.7% del costo de todas las operaciones vehiculares en la RCF en ese año (que es del orden de 40 mil millones de dólares).

Una versión que contrasta con la tendencia de mejoramiento de la siniestralidad en la RCF obtenida a partir de los reportes de accidentes de la PF, proviene de información de los servicios médicos de Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE). Para el tránsito recorrido en las carreteras de cuota operadas por este organismo (17.5 mil millones de vehículos-kilómetro), la Tabla 5 muestra la evolución, entre 2003 y 2007, de los accidentes, muertos y lesionados registrados. El último renglón en la Tabla 5 muestra los valores de TMCA obtenidos para cada serie de datos.

Estos valores evidencian, en vez de un mejoramiento de la seguridad vial, tasas de crecimiento anual muy elevadas para los tres rubros considerados. Evidentemente esta versión corresponde a sólo 12.85% de los vehículos-kilómetro totales recorridos en la RCF ($17,500 \times 100 / 135,886$), aunque ciertamente se refiere al tránsito que circula por la fracción de la red con las mejores características físicas y geométricas. Por lo anterior es raro que esa parte del tránsito registre tendencias tan elevadas al incremento de la siniestralidad de 2003 a 2007, y la totalidad de la RCF registre tendencias al mejoramiento según la información de la PF.

TABLA 5.- Evolución de los Accidentes, Muertos y Lesionados en la Red Operada por CAPUFE

Año	Accidentes	Lesionados	Muertos
2003	16,424	7,859	663
2004	17,397	9,020	711
2005	18,804	9,013	673
2006	22,011	10,591	908
2007	22,327	10,793	847
2008	21,205	10,164	707
2009	19,768	10,350	751
2010	20,573	10,439	821
TMCA (%)	4.68	8.97	3.33

2.3 Los Sistemas Inteligentes de Transporte y sus aplicaciones

2.3.1 Antecedentes

Desde hace varios años se han venido desarrollando herramientas basadas en diferentes formas de comunicación con el fin de hacer más eficiente, segura y amigable con el ambiente, la operación de los flujos vehiculares en los sistemas de transporte. Las primeras de esas formas involucraban generalmente una participación humana activa muy considerable. Con el paso del tiempo y el desarrollo que han venido observando la electrónica, las telecomunicaciones y los sistemas de cómputo, esos procesos se han venido automatizando, hasta generar una serie de tecnologías que en este momento se denominan con el término genérico “Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT)” o ITS por sus siglas en inglés.

La telemática aplicada al campo de los transportes o ITS, es un término usado para describir la transferencia de información usando métodos modernos de comunicación, generalmente de forma automática. Inicialmente, se aplicó al sector transporte en referencia a los sistemas de administración de tránsito que recopilaban información acerca de las condiciones del camino y controlaban el flujo de tránsito mediante el uso de información a los conductores. Debido a que se desarrollaron otros sistemas que proporcionan información a los conductores, el término se aplicó a estos también, de tal forma que la telemática de transporte en la actualidad cubre por completo el campo de la información al conductor y de dispositivos de seguridad. En la actualidad, se usan indistintamente los términos telemática de transporte y sistemas inteligentes de transporte [Referencia 9].

La esencia de los sistemas inteligentes de transporte es hacer mejoras significativas en la movilidad, seguridad vial y productividad mediante la construcción de sistemas de transporte que hagan uso de tecnologías electrónicas avanzadas y de software de control.

La introducción de tales sistemas ha sido principalmente de interés gubernamental, debido a su costo capital y a la responsabilidad de los gobiernos de proveer la infraestructura, sobre todo con el objetivo de tener mayor capacidad para suministrar servicios de transporte con montos menores de inversión. El suministro de información a los conductores siempre ha sido prioritario, de tal forma que ellos puedan contribuir a la reducción de congestionamientos al eludir

las áreas en conflicto, y en el largo plazo, viajar a diferentes horas del día. Esto llevó a la introducción de anuncios por radio y a la creación de sitios de información específicos como los dispositivos que despliegan información de estacionamientos y otros tipos de mensajes en el camino.

Los sistemas inteligentes de transporte cubren los nuevos conceptos de infraestructura, vehículos y conductores enlazados, mediante el uso de nuevas tecnologías de localización de posición, comunicaciones, procesamiento de información y electrónica. Además de contribuir a la eficiencia del transporte, los SIT contribuyen a la protección ambiental y a la eficiencia en el uso de energéticos, además de promover la seguridad de los pasajeros, su comodidad y utilidad. En el largo plazo, las soluciones apuntan a que los modos de transporte se integren “sin costuras”, de tal forma que los usuarios puedan elegir modos particulares y hacer transferencias entre ellos fácil y rápidamente.

Los SIT han generado una redefinición de la forma en que se proporcionan los servicios de transporte. La comunicación e intercambio de información confiable y precisa en tiempo real entre los transportistas, vehículos y usuarios requiere de acuerdos de participación entre los sectores público y privado, y entre las dependencias federales y locales y organismos educativos y de investigación para planear, diseñar, construir, operar y mantener los sistemas necesarios.

No hay una respuesta única para enfrentar los complejos problemas de transporte. Sin embargo, las nuevas tecnologías en computación, sensores y comunicaciones, comúnmente referidos como tecnologías de SIT, han abierto nuevas posibilidades. Algunas de estas mejores formas de hacer las viejas funciones como el control de tránsito, y algunas otras nuevas, como el guiado dinámico de ruta. La mayoría son ideas que los especialistas en transporte han tenido por mucho tiempo, pero que estaban más allá de la tecnología o recursos disponibles.

2.3.2 Los ITS y su arquitectura

Los ITS están integrados básicamente desde el punto de vista conceptual en cuatro capas claramente diferenciadas [Referencia 10]. Dichas capas son, utilizando una aproximación ascendente, las siguientes:

- Las comunicaciones, que representan el soporte tanto físico como funcional, sobre el que se asientan y aseguran las posibilidades reales de que la información sea transmitida de forma eficaz, rápida y segura, desde sus orígenes hasta sus potenciales destinos.
- Los equipos y tecnologías ITS en general, cuya misión básica es la de integrar las piezas que constituyen la estructura que coherencia, razón de ser y utilidad real a la capa superior, compuesta por los sistemas.
- Los sistemas, que componen el núcleo funcional básico del conjunto, puesto que son los que agrupan y concentran la inteligencia integradora capaz de procesar la información bruta y de generar los resultados finales en forma de servicios, del tipo que sea, a los usuarios finales.
- Los usuarios que son, en definitiva, la razón de ser de todo lo anterior y a la vez, quienes definen en forma de necesidades funcionales, los requerimientos necesarios, desde el punto de vista del diseño y la calidad, de los distintos componentes anteriores.

De acuerdo con la National ITS Architecture de los E.U.A. [Referencia 11], la arquitectura física de los sistemas inteligentes de transporte define cuatro sistemas: Viajero, Central, Camino y Vehículo; más 19 subsistemas. Los subsistemas están compuestos por paquetes de equipamiento con atributos funcionales específicos. Los paquetes de equipamiento están definidos para apoyo de análisis y difusión, y representan las unidades más pequeñas dentro de un subsistema.

En términos comerciales, la telemática aplicada al campo de los transportes o Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT) o ITS por sus siglas en inglés, fundamentalmente es diferente de otras industrias debido a que opera a través de cuatro mercados extremadamente diversos:

- Manufactura de automóviles y sus componentes;
- Industria de las comunicaciones;
- Industria microelectrónica;

- Proveedores de servicios de información.

Además, la integración de las tecnologías y la participación de varias organizaciones para construir una infraestructura compatible son cruciales para el desarrollo de SIT efectivos. Para este fin, existe una participación relativamente alta del gobierno en la industria y se han formado diversas organizaciones para asegurar un buen intercambio de información y desarrollo técnicos. Se incluyen Vertis en Japón, ITS America en E.U.A., Ertico en Europa y el Comité ITS México [Referencia 9].

2.3.3 Clasificación

Hablando de clasificación de ITS, a partir de los documentos revisados, básicamente se encontraron dos. La primera correspondiente a Paul Tucker, quien realiza una clasificación de los ITS con base en sistemas de aplicaciones, y la segunda, corresponde al U.S. National ITS Program Plan, con base en áreas de servicio. A continuación se describen ambas clasificaciones.

TABLA 6.- Arquitectura física de la National ITS Architecture (E.U.A.)

Sistema	Subsistemas
Viajero	- Apoyo a viajero remoto - Acceso a datos personales (bases de datos)
Central	- Administración de vehículos comerciales - Administración de flotas y carga - Administración de cuotas - Administración de transporte público - Administración de emergencias - Administración de emisiones - Planeación - Administración de tránsito - Proveedor de servicios de información
Carretera	- Carretera - Cobro de cuotas - Estacionamientos - Verificación de vehículos comerciales
Vehículo	- Vehículo - Vehículo de transporte público - Vehículo comercial - Vehículo de emergencia

Fuente: U.S. National ITS Architecture.

De acuerdo con Paul Tucker [Referencia 12], el campo de los ITS puede dividirse en cinco categorías. No obstante, existen traslapes en las tecnologías usadas en estos sistemas y existen muchos productos que no pueden clasificarse solamente en una categoría. Las cinco áreas estudiadas son:

- Sistemas de administración del tránsito;
- Sistemas avanzados de información del tránsito;
- Sistemas de navegación a bordo;
- Sistemas de reporte de vehículos y cobro electrónico de cuota (ETC);
- Dispositivos automáticos de seguridad.

En estudios previos, se ha revisado el potencial de aplicación de las tecnologías ITS a las carreteras en México [Referencia 9], a partir de un conjunto de encuestas aplicadas a funcionarios gubernamentales federales y estatales (de transportes, comercio, aduanas, migración, etc.), empresarios (concesionarios de autopistas de cuota, transportistas, agentes de carga, fabricantes y comerciantes de equipo ITS, etc.) y ejecutivos de asociaciones ITS nacionales e internacionales (Sociedad de ITS en México, ERTICO, ITS-América, etc.), a cada persona entrevistada se le solicitó calificar el potencial de aplicación de las tecnologías de su incumbencia de acuerdo con criterios de costo de implementación, mercado posible, beneficios por mejoramiento de la calidad de servicio, reducción de costos de transporte, aumento en seguridad, etc.

Posteriormente, se han detectado e identificar las tecnologías ITS, destinadas a atender los problemas de seguridad en las carreteras.

2.3.4 ITS con mayor potencial de aplicación

Partiendo de las condiciones actuales del transporte en México, las aplicaciones y los trabajos iniciales en el campo de las tecnologías ITS, así como los niveles de competitividad requeridos para participar con éxito en los mercados globalizados y cadenas logísticas mundiales, Adelante se presenta un panorama global de las tecnologías y aplicaciones ITS, existentes así como aquellas que en los últimos años han tenido desde un incipiente grado de aplicación hasta las que acompañadas de medidas de apoyo gubernamentales y privadas han mostrado un grado importante de éxito

Tabla 7. Servicios al usuario según la National ITS Architecture (E.U.A.)

Categoría de servicios al usuario	Servicios al usuario
Administración de viajes y de transporte	- Información al conductor en ruta - Guiado de ruta - Información de servicios al viajero - Control de tránsito - Administración de incidentes - Verificación y mitigación de emisiones - Administración de la demanda y operaciones - Información previa de viajes - Emparejamiento (matching) y reservación de viaje (ride) - Intersección de vialidades y vías de ferrocarril
Operaciones de transporte público	- Administración de transporte público - Información de transporte público en ruta - Transporte público personalizado - Seguridad pública en viajes
Pago electrónico	- Servicios de pago electrónico
Operaciones de vehículos comerciales	- Despacho electrónico de vehículos comerciales - Inspección automática de seguridad carretera - Monitoreo de seguridad a bordo - Procesos de administración de vehículos comerciales - Respuesta a incidentes de materiales peligrosos - Movilidad de la carga
Administración de emergencias	- Notificación de emergencias y seguridad personal - Administración de vehículos de emergencia
Sistemas avanzados de control y de seguridad del vehículo	- Prevención de choques longitudinales - Prevención de choques laterales - Prevención de choques en intersecciones - Mejoramiento de la visión para prevenir choques - Disposición para la seguridad - Difusión de restricciones para prevenir choques - Sistema de carretera automatizada

Fuente: U.S. National ITS Architecture. Traducción Propia.

Tecnologías en general

Se obtuvo que las siguientes tecnologías ITS tienen mayor potencial de aplicación al transporte de carga por carretera en México, a partir de un conjunto de encuestas aplicadas a funcionarios gubernamentales federales y estatales (de transportes, comercio, aduanas, migración, etc.), empresarios (concesionarios de autopistas de cuota, transportistas, agentes de carga, fabricantes y comerciantes de equipo ITS, etc.) y ejecutivos de asociaciones ITS nacionales e internacionales (Sociedad de ITS en México, ERTICO, ITS-

América, etc.). A cada persona entrevistada se le solicitó calificar el potencial de aplicación de las tecnologías de su incumbencia de acuerdo con criterios de costo de implementación, mercado posible, beneficios por mejoramiento de la calidad de servicio, reducción de costos de transporte, aumento en seguridad, etc. Las tecnologías se presentan a continuación por orden decreciente de su potencial estimado, en términos de los distintos subsistemas considerados en la National ITS Architecture [Referencia 11].

Cobro Electrónico de Cuotas (Toll Collection)

Pueden utilizarse en sitios en los que se cobra por el uso de la infraestructura carretera (pavimentos, puentes, etc.). Los vehículos son equipados con dispositivos (“tarjetas” o “transponders”) que permiten identificarlos mediante un lector automático. La comunicación entre el vehículo y la carretera (lector) se establece a través de ondas de radio de corto alcance (“Dedicated Short Range Communications” o DSRC). La información sobre el vehículo es leída y enviada a un centro de cómputo, verificándose en éste una serie de aspectos en archivos computacionales existentes (cuentas pre-pagadas, etc.). Si se cumple con un conjunto de condiciones, el conductor recibe una señal de siga. Al usuario le es enviada una vez al mes una cuenta por pagar, similar a la del teléfono. Estas tecnologías permiten aumentar hasta 4 veces la capacidad de cobro en relación con el cobro manual y hasta 2 veces en relación con los equipos de cobro en efectivo.

En los Estados Unidos, esta modalidad ha experimentado un rápido crecimiento en los últimos años, existiendo actualmente más de 10 millones de vehículos con dispositivos para cobro automático de cuota. En México, el organismo que más las ha utilizado es el órgano gubernamental encargado de las autopistas federales de cuota (Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE)), el cual maneja un mercado de alrededor de 80,000 tarjetas o dispositivos, con planes de expandirlo al doble en el corto plazo. Su implementación estará vinculada con la de las tecnologías de Administración de Cuotas (Toll Administration). Éstas hacen posible la verificación automatizada de cargos a los usuarios y la transferencia de fondos de los mismos al operador de la infraestructura carretera, en centros establecidos para esos fines.

Administración de Vehículos Comerciales (Commercial Vehicle Administration)

Permiten automatizar y acelerar los trámites administrativos relacionados con la expedición de licencias y permisos para proporcionar servicios de autotransporte (o para realizar movimientos de cargas indivisibles de gran peso y volumen o de sustancias peligrosas) así como con la recolección de los impuestos y derechos asociados, la verificación de condiciones de seguridad, etc. En México ya existen avances importantes a nivel federal en la elaboración de los bancos de datos requeridos por estas tecnologías (de conductores, vehículos, empresas, etc.) y los programas de cómputo para manejarlos. Su implementación estará vinculada con la de las tecnologías de Verificación de Vehículos Comerciales (Commercial Vehicle Check) y las que se instalan en el interior de estos últimos (Commercial Vehicle Subsystem). Las primeras permiten verificar en campo (sin necesidad de detener a los vehículos) que los permisos y licencias se encuentren en orden y que se esté cumpliendo con las distintas regulaciones (de seguridad, peso y dimensiones, contaminación, aduanales, etc.) en tanto que las segundas proporcionan información y auxilio al conductor para el guiado y la operación segura y eficiente.

Algunas aplicaciones relacionadas con estas tecnologías que muestran ya un cierto nivel de implantación, son:

- Aplicaciones para agilizar las inspecciones y los trámites burocráticos que deben realizarse en los cruces fronterizos de productos [p. ej. North American Trade Automation Prototype (NATAP)] y personas [p. ej. Secure Electronic Network for Traveler's Rapid Inspection (SENTRI)], particularmente en lo referente a las condiciones del transporte de ciertos tipos especiales de productos (p. ej. materiales peligrosos).
- Aplicaciones de sistemas de información geográfica (SIG), sistemas de posicionamiento global (GPS) y comunicación e intercambio remoto de información (p. ej. INTERNET) para agilizar la obtención de permisos y autorizaciones y otros procedimientos administrativos (p. ej. cobro de impuestos y derechos), permitiendo a la vez la creación automática de bases de datos sobre fletes, empresas, vehículos y conductores. Estas últimas pueden utilizarse para identificar aquellos elementos con peor historial de

comportamiento en términos de violaciones a las regulaciones, accidentes, etc., con propósitos de implementar medidas preventivas o disciplinarias (p. ej. la realización de auditorías, inspecciones o la aplicación de sanciones). La idea de esta aplicación es simplificar y agilizar los procedimientos administrativos.

- Aplicaciones de identificación automatizada en la carretera y de verificación de que al momento de estarse realizando la transportación, se esté cumpliendo con todos los requerimientos legales referentes al flete, las empresas, los vehículos y los conductores (p. ej. autorizaciones y permisos especiales, pesos y dimensiones, condiciones físico-mecánicas de los vehículos, fatiga y presencia de alcohol y drogas en los conductores, etc.). Estas aplicaciones también permiten consultar en el momento de la inspección en campo, el historial del comportamiento de los distintos elementos involucrados en el flete (bases de datos referidas en el punto anterior). La información captada en este tipo de procesos puede alimentar a las bases de datos antes referidas.

Administración de Flotas y Carga (Fleet and Freight Management)

Permiten dar seguimiento en tiempo real a la ubicación de los vehículos, la carga y los conductores durante la realización de los fletes, con fines de administración, seguridad, etc. Una variante de estas tecnologías es el uso de tarjetas inteligentes para el pago de combustible. En México, estas tecnologías han venido siendo implementadas rápidamente por algunas de las principales empresas transportistas e industriales que cuentan con su flota propia, generalmente relacionadas con el Comercio Exterior. Además, existen empresas de consultoría que se dedican al desarrollo de soluciones integrales orientadas a la distribución física de mercancías, desde la coordinación de la compra de materias primas o insumos para la producción hasta la distribución en almacenes y a clientes intermedios y finales.

Otras aplicaciones relacionadas con estas tecnologías que muestran ya un nivel de implantación, son:

- Aplicaciones de comunicación y de ruteo y despacho automatizado de vehículos, y de coordinación intermodal, con el fin de hacer más eficientes y

seguros los traslados de carga, evitando zonas de congestionamiento u obstrucción a la circulación.

- Aplicaciones de localización vehicular, con el fin de transmitir la ubicación de un vehículo que ha sufrido una descompostura o se ha visto involucrado en un accidente, robo, etc. La utilización de estos sistemas se verá favorecida en países con extensiones territoriales de medianas a grandes, como es el caso de México, particularmente en el transporte de las mercancías de largo recorrido que tienen que ver con el comercio en Norteamérica (Estados Unidos, México y Canadá). Estos sistemas de localización vehicular también se han utilizado en vehículos de emergencia, flotas de autobuses y camiones de carga, y vehículos de alquiler, conjuntamente con programas de administración, operación y reparto de flotillas.

Manejo de Tráfico (Traffic Management)

Operan desde un centro y permiten vigilar y controlar el tráfico vehicular para hacerlo más seguro, eficiente, amigable con el ambiente, etc. Su implementación estará vinculada con la de los dispositivos que se instalan en las carreteras (Roadway Subsystems) para alimentar de información a dicho centro (transmisiones de radio, sensores, señalamientos de mensaje variable, cámaras de circuito cerrado de televisión, contadores de vehículos, etc.), las tecnologías que se instalan en los vehículos (sensores, sistemas de comunicación, computadoras, etc.) (Vehicle Subsystems) para proporcionar información y auxilio a los conductores para el guiado y la operación segura y eficiente, las de administración de emergencias (Emergency Management) y las que se instalan en los vehículos de emergencia (Emergency Vehicle Subsystems). Estos dos últimos tipos de tecnologías serán comentados más adelante. El mayor potencial de aplicación de estas tecnologías en el ámbito carretero de México está en los caminos de cuota. Como un plan piloto para probar todas las tecnologías aplicables en éstos, CAPUFE tiene el proyecto de implementar un sistema denominado Gestión de Tráfico en Plena Vía en un tramo de 5 km de la Autopista México-Cuernavaca. Éste tendrá un costo aproximado de 80 millones de dólares americanos y de ser aprobado por las autoridades correspondientes, estará operando en un plazo de 24 meses a partir del inicio de los trabajos. Los resultados que se obtengan de este proyecto permitirán contar con mayores elementos sobre cuales de estas

tecnologías convendrá aplicar en la Red de Autopistas de Cuota y cuales en el resto de la Red Federal Básica. Sin embargo, el mayor potencial de utilización de todas estas tecnologías está en el medio urbano a través de los sistemas de vigilancia de redes viales, la operación computarizada de semáforos en red, el manejo de carriles reversible y de alta ocupación, road pricing, etc. Varias de las ciudades más importantes de México ya cuentan con algunos de estos sistemas o se encuentran en proceso de implementarlos (sistemas computarizados de control de semáforos de México, Guadalajara, etc.). También se han utilizado para el control de señales en redes ferroviarias (sistema de transporte colectivo “Metro” de la Ciudad de México y de otras ciudades, sistemas ferroviarios concesionados, etc.).

Otras aplicaciones relacionadas con estas tecnologías que muestran ya un nivel de implantación son aplicaciones al manejo del tráfico, dirigidas a aumentar la capacidad de las vías, el otorgamiento de preferencia de circulación a vehículos de emergencia, la verificación continua de las condiciones del tráfico, la predicción del congestionamiento y el suministro de controles correctivos mediante el uso de elementos de información a los conductores tales como los carteles de despliegue de mensajes variables de restricción de velocidad.

Administración de Emergencias (Emergency Management)

Operan de manera coordinada con las tecnologías de manejo de tráfico (Traffic Management) desde centros de emergencia (p. ej. estaciones de policía y bomberos), desde donde se disparan una serie de acciones en casos de incidente (despacho y ruteo de vehículos de emergencia, etc.). Como ya se indicó, su implementación estará vinculada con la de las tecnologías que se instalan en los vehículos de emergencia (Emergency Vehicle Subsystems) para establecer comunicación con ellos, dar seguimiento a su recorrido, etc. El proyecto piloto de CAPUFE antes referido, también arrojará elementos sobre la conveniencia de aplicar estas tecnologías en México.

Algunas aplicaciones relacionadas con estas tecnologías que muestran ya una cierta implantación son aplicaciones al manejo de incidentes, que en el momento en que el vehículo sufre un percance, disparan una serie de servicios de emergencia en su auxilio, informan sobre su ubicación precisa e informan a los demás usuarios de la carretera sobre los problemas de tráfico

que el vehículo en cuestión está generando así como sobre alternativas de circulación. Abarcan tanto al autotransporte convencional como al de cargas especiales (indivisibles de gran peso y/o volumen, materiales peligrosos, etc.). También permiten ir generando, de manera automática, una base de datos computarizada con información detallada de los incidentes ocurridos.

Suministro de Servicios de Información (Information Service Provider)

Son tecnologías instaladas en un centro en el que se recopila, procesa y difunde información de transporte a los operadores de los sistemas de transporte o a los usuarios de los mismos. Su implementación estará vinculada con la de las tecnologías de Acceso a Información Personal (Personal Information Access) y de Apoyo Remoto al Viajero (Remote Traveler Support). Las primeras permiten a los viajeros obtener información en sus hogares y sitios de trabajo (proveniente de centros de información) sobre las diferentes alternativas para viajar a su destino (incluyendo alternativas multimodales), la situación del congestionamiento en éstas, las condiciones del estacionamiento a lo largo de la ruta y en el destino, etc., en tanto que en las segundas este mismo tipo de información se proporciona en sitios públicos fijos de generación de viajes (p. ej. centros comerciales, terminales de transporte público, sitios de entretenimiento, hoteles), a lo largo de las rutas, etc. En México ya se cuenta con este tipo de servicios con diferentes niveles de automatización, a través de estaciones de radio y televisión, en terminales de autobuses foráneos, centros comerciales, turísticos, etc. Se considera que por el nivel de avance que ya se tiene, el desarrollo y expansión de estos sistemas en México es ineludible.

Dispositivos automáticos de seguridad

Los ITS se aplican a vehículos individuales, ya sea como parte de la administración del tránsito, o como sistemas aislados. La aplicación de la electrónica al manejo de máquinas no es nueva, y el contenido electrónico de los nuevos vehículos es en la actualidad de más del 25% del costo del vehículo. Las aplicaciones de los ITS están ampliando la visión a áreas tales como sistemas de piloto automático (control de crucero inteligente autónomo), en los que en ciertos caminos la computadora a bordo controlará el vehículo de tal forma que minimizará la distancia entre los vehículos, tanto longitudinal

como lateral. La intención es reducir accidentes al formar convoyes bajo control computarizado, además de incrementar la densidad del tránsito en una ruta determinada, sin la necesidad de incrementar la capacidad de la infraestructura a través de la construcción de carriles adicionales.

Esta área de ITS aún está en proceso, pero el control totalmente automático de los vehículos ha sido demostrado en tramos de prueba. La formación de convoyes de vehículos se considera por algunos gobiernos como el sistema de administración del tránsito final, asignándoles recursos para investigación.

Aún cuando el control total del piloto automático no sea adoptado, los ITS que se están introduciendo a los vehículos llevarán a cabo el monitoreo de la localización de otros vehículos y obstáculos, reaccionando a situaciones potencialmente peligrosas más rápido que el conductor humano.

Otras áreas estudiadas incluyen bolsas de aire que se despliegan justo antes de que ocurra un accidente y que ajustará su método de despliegue de acuerdo con su percepción de la situación, además de software para monitorear y controlar las reacciones de los vehículos en convoy.

Por otro lado, las tecnologías ITS han sido encapsuladas en un conjunto de servicios al usuario que están interrelacionados para aplicarse a los problemas de transporte. Actualmente, en los E.U.A. se han identificado treinta servicios al usuario. La lista de servicios al usuario no es exhaustiva ni final. De acuerdo con la Arquitectura Nacional de ITS de E.U.A., los servicios al usuario están agrupados en seis categorías como se muestra en la Tabla 1.

A continuación se describen brevemente algunos de los sistemas avanzados de control y de seguridad del vehículo.

- **Prevención de choques longitudinales.** Ayuda a prevenir colisiones de frente o de alcance entre vehículos, o entre vehículos y otros objetos o peatones. Este servicio ayuda a reducir el número y severidad de choques. Incluye la percepción de choques potenciales o inminentes, indicando al conductor acciones de prevención, y temporalmente controlando el vehículo.
- **Prevención de choques laterales.** Ayuda a prevenir choques cuando los vehículos pierden su carril de viaje. Este servicio proporciona avisos de choque y controla los cambios de carril y salidas del camino. Ayuda a reducir el número de choques laterales incluyendo dos o más vehículos, o choques

incluyendo un solo vehículo saliendo del camino. Para carriles de cambio, un monitor de situación puede monitorear el punto ciego del vehículo, y los conductores pueden ser advertidos de un choque inminente. Si es necesario, el control automático puede responder de manera efectiva muy rápidamente a situaciones de riesgo. Los sistemas de aviso pueden alertar también a un conductor de la salida inminente del camino, proporcionarle ayuda para mantener al vehículo en el carril y por último, proporcionar control automático de conducción y reducción de velocidad en situaciones peligrosas.

- **Prevención de choques en intersecciones.** Ayuda a prevenir choques en intersecciones. Este servicio avisa a los conductores de choques inminentes cuando se aproximan o cruzan una intersección o vías de ferrocarril que cuentan con control de tránsito (p.e., señales de alto o un semáforo). Este servicio también alerta al conductor cuando el derecho de vía en la intersección o cruce no es claro o es ambiguo.

- **Mejoramiento de la visibilidad para prevenir choques.** Mejora la capacidad del conductor para ver el camino y los objetos que están sobre o a lo largo del camino. Una mejor visibilidad permite a los conductores evitar choques potenciales con otros vehículos, obstáculos en el camino o trenes estacionados o en movimiento; así, también ayuda al conductor a respetar las señales de tránsito. Este servicio requiere equipamiento en el vehículo para percibir los riesgos potenciales, procesar la información y mostrarla de tal forma que sea útil al conductor.

- **Implementación de restricciones para prevenir choques.** Anticipa un choque inminente y activa los sistemas de seguridad del pasajero antes de que ocurra el choque. Este servicio identifica la velocidad, masa y dirección de los vehículos u objetos involucrados en un choque potencial, y el número, localización y principales características físicas de los ocupantes. Las respuestas incluyen tensión de los cinturones de seguridad, armado e inflado de bolsas de aire a la presión óptima.

- **Disposición para la seguridad.** Proporciona avisos acerca de las condiciones del conductor, del vehículo y del camino. El equipamiento en el vehículo monitorea la condición del conductor de manera no intrusiva y proporciona un aviso si el conductor se está adormeciendo o se encuentra impedido de alguna otra forma. Este servicio puede también monitorear

internamente componentes críticos del automóvil, y alertar al conductor sobre fallas inminentes. El equipo dentro del vehículo puede también detectar condiciones inseguras del camino, tales como un puente congelado o agua encharcada en el camino, y proporcionar avisos al conductor.

- **Sistema de carretera y/o vehículo automatizado.** Proporciona un ambiente de operación totalmente automatizado, “sin manos”. Los sistemas de carretera automática son una meta de largo plazo de los ITS que proporcionarían grandes mejoras en seguridad creando un ambiente prácticamente sin accidentes. Los conductores pueden comprar vehículos con los instrumentos necesarios o adaptar un vehículo existente. Los vehículos que no tienen capacidad de operación automatizada, durante un tiempo de transición, pueden ser operados en carriles sin automatización.

Otras Tecnologías

Existen otras tecnologías que no se refieren al transporte de carga por carretera, que también se considera que tienen un gran potencial de aplicación en México.

Dentro de las anteriores se encuentran las que se aplican al Transporte Público en centros específicos (Transit Management), con el fin de optimizar la administración de las flotas de transporte de pasajeros y coordinar su operación entre ellas y con otros modos de transporte. Entre los servicios que pueden considerarse como parte de estas tecnologías están el rastreo de vehículos, el despacho de vehículos y conductores, el mantenimiento de las unidades, la recopilación de información operativa con fines de planeación, el suministro de información a los pasajeros, etc. Su implementación estará vinculada con la de las tecnologías que se instalan en los vehículos de transporte público de pasajeros (sensores, sistemas de comunicación, computadoras, etc.) (Transit Vehicle Subsystems) para respaldar el traslado seguro y eficiente de los mismos.

CAPITULO 3. SELECCIÓN DE TRAMO DEMOSTRATIVO

*“La creatividad consiste en pensar en cosas nuevas.
La innovación consiste en hacerlas”.
Theodore Levitt*

3.1 Análisis de la Red Federal libre de peaje

A nivel nacional el registro de los accidentes en la RCF libre se ha incrementado notoriamente, por consiguiente la cifra de muertes y heridos eleva el costo total de los mismos considerando los costos unitarios promedio por muerto y por lesionado, así como su impacto en el PIB durante el año.

Como parte de la metodología desarrollada en este estudio se realizó una revisión de la ocurrencia de accidentes en la RCF libre, durante el año de 2009 se tuvieron alrededor de 22 mil muertes por accidentes viales en carreteras y zonas urbanas del país, el costo de los accidentes ocurridos en el año de referencia se estiman en 12,600 millones de dólares que equivalen al 2% del PIB de México. Éste es el sobre costo en el que incurre el país por efecto de la inseguridad vial y que incide en la disminución de la productividad y competitividad.

Las causas más comunes de accidentes en la RCF libre son:

- ◆ El Conductor con el 68%, debido principalmente a velocidades excesivas,
- ◆ El Vehículo con el 4%, por fallas de llantas principalmente,
- ◆ El Camino con el 19% , debido a pavimento resbaloso o mojado, principalmente y
- ◆ Agentes naturales con el 9% por lluvia.

3.2 Saldos de accidentes a nivel nacional

De acuerdo con las cifras oficiales de la PFP, en la RCF de aproximadamente 55,687 km vigilada por dicha institución, se reporta que durante 2009 ocurrieron 29,050 accidentes con un saldo de 33,130 lesionados; 5,014 muertos; y daños materiales estimados en 1'513,258,080 pesos mexicanos [Referencia 13]. Asimismo, para el 2007 el Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras

Federales reporta 29,640 accidentes; 29,758 lesionados; 4,860 muertos; y daños materiales por 1,495.7 millones de pesos (135,974 miles de dólares); siendo el costo total de los accidentes registrados, de 2,437 millones de dólares (considerando una paridad de 11 pesos por dólar americano).

En lo correspondiente a las Carreteras Federales Libres más peligrosas en 2009, destaca la Carretera México-Toluca ocupando el séptimo lugar en costo total de accidentes por kilómetro. Respecto a los tramos más peligrosos para el mismo año, el tramo Lim. Edos. DF/Mex – T Der Huixquilucan, el cual pertenece a dicha carretera, se ubica en el tercer lugar en costo total de accidentes por kilómetro.

Por otra parte, en el 2009, el tramo arriba mencionado, se ubica en el primer lugar de tramos más peligrosos de la Red Carretera Nacional, con 25 accidentes por kilómetro.

En la Figura 3.1.1 se muestra una vista general del tramo en estudio, que es parte de la Carretera Federal Libre México-Toluca.

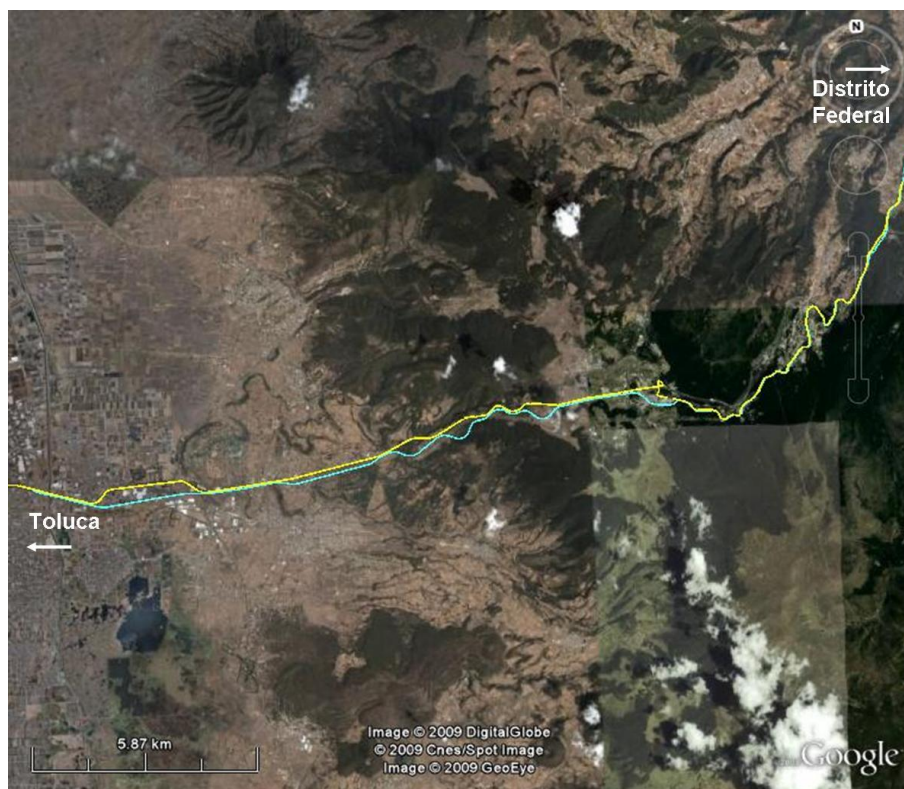


Figura 3.1.1 Vista general del tramo en estudio

Otro elemento de decisión son las condiciones físicas y geométricas del tramo, en éste se presenta un conjunto de ocho curvas con ángulo de deflexión de entre 54° y 147°. El límite de velocidad establecido según el señalamiento es de 50 km/hr en el área de curvas y de 90 km/hr en el resto del tramo.

Como es evidente en la Figura 3.1.2 se observa la presencia de curvas con las características ya mencionadas, las cuales están ubicadas entre el km 23+000 al 35+000.



Figura 3.1.2 Vista general de la carretera libre y cuota México-Toluca

Todo lo anterior, coadyuvó en la selección del tramo demostrativo, mismo que pertenece a la Carretera Federal Libre México-Toluca, y que corresponde a la 00447 según Datos Viales 2009.

3.3 Otros datos operativos

Según los Datos Viales de la SCT de 2009, entre los kilómetros 23 y 35, esta carretera tiene un tránsito diario promedio anual (TDPA) de alrededor de 50 mil vehículos, con un reparto por sentidos aproximado de 50% y 50%, y una composición vehicular de 81.6% de automoviles, 7.7% de autobuses y 10.7% de camiones de carga.

CAPÍTULO 4. DIAGNÓSTICO

"Proyecta lo difícil partiendo de donde aún es fácil."
Lao-tse

4.1 Análisis de accidentalidad en el tramo

A partir del análisis de las bases de datos de accidentes de la PF [Referencia 14], del 2001 al 2007, se tiene que en la Carretera Federal Libre México-Toluca se registraron alrededor de 1500 accidentes. En el 2001 se registró la mayor cantidad (381), mientras que en años recientes 2006 y 2007, se registraron 161 y 181 accidentes respectivamente. En la Figura 4.1.1 se muestra el número de accidentes registrados en el cadenamiento del tramo en estudio.

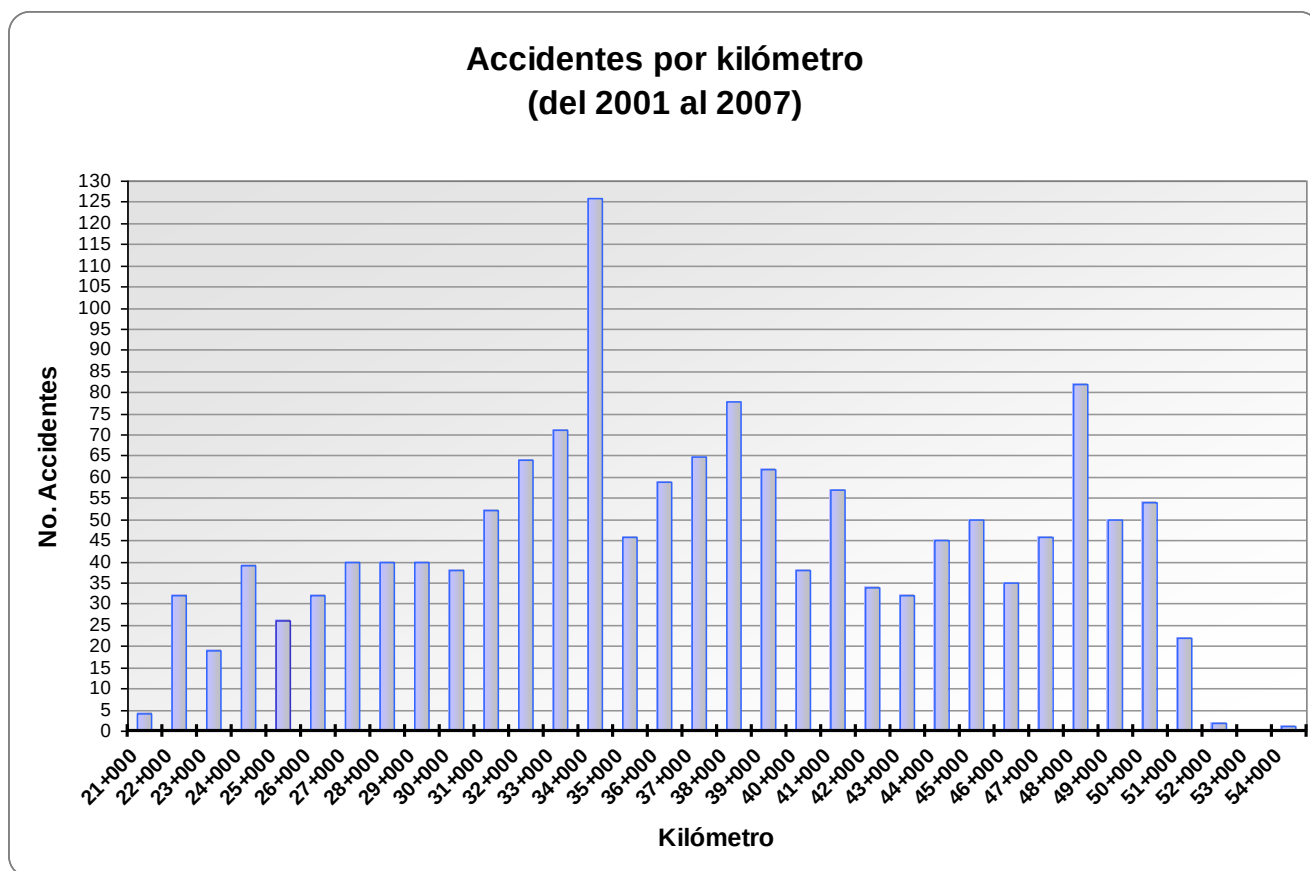


Figura 4.1.1 Accidentes por kilómetro del tramo en estudio

Como se observa, entre el km 23+000 al km 35+000, se acumulan significativamente el número de percances ocurridos en el período 2001-2007, la

cual se denominará sección 1 o tramo demostrativo. Además existen otras dos secciones, sección 2 (km 36+000 – 39+000) y sección 3 (km 44+000 al 48+000), que serán analizadas como parte de la Carretera Federal México-Toluca Libre, con el fin de tener una visión general de la problemática presentada en dicha carretera.

Carreteras más peligrosas en 2006

De acuerdo con información del Anuario Estadístico de Accidentes [Referencia 13], la Carretera Federal Libre México-Toluca se incluye entre las vías que ocupan los primeros lugares, descartando las carreteras de cuota, con un elevado costo total de accidentes por kilómetro por cada millón de veh-km, tal como se muestra en la Figura 4.1.1.

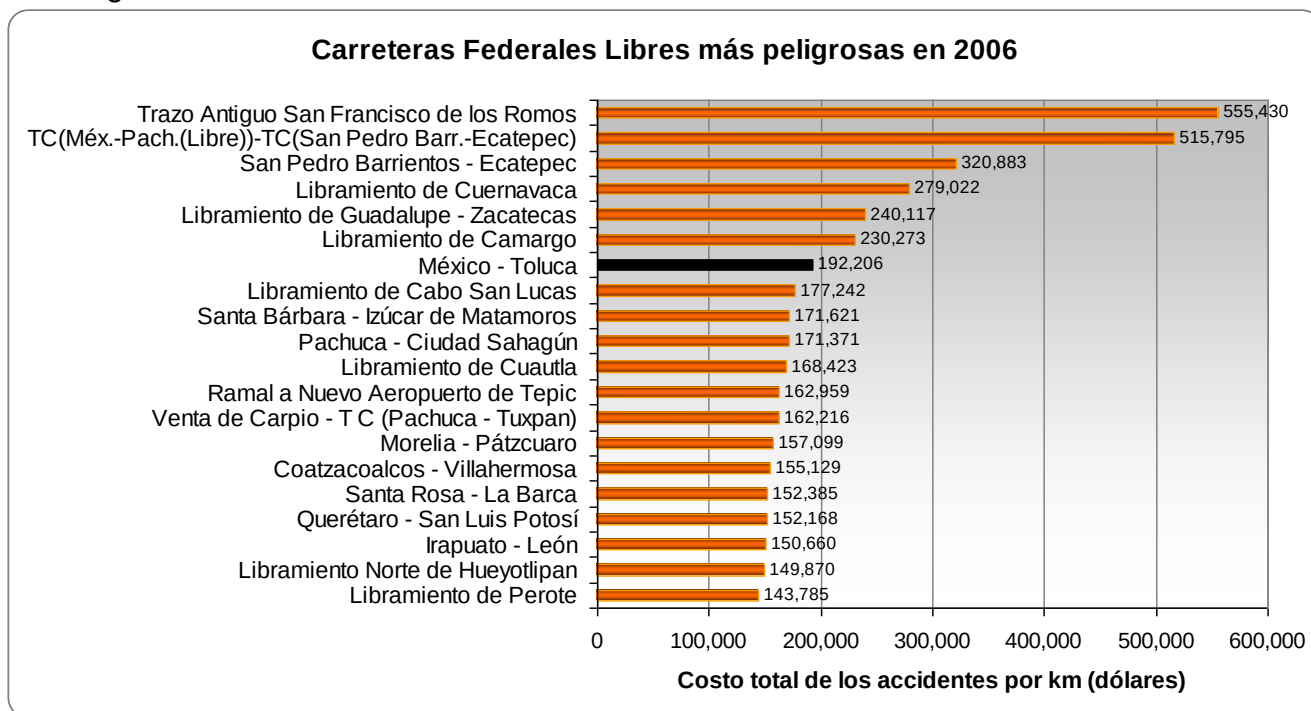


Figura 4.1.2 Carreteras libres más peligrosas en 2006

En lo que corresponde a los tramos más peligrosos, se muestran en la Figura 4.1.2 los primeros veinte tramos con el mayor número de percances en carreteras libres en el 2006, jerarquizados en función del costo total de los accidentes en dólares por kilómetro.

En la misma Figura 4.1.2 se visualizan dos tramos que corresponden a la Carretera Federal Libre México-Toluca:

- Lim Edos DF/MEX - T Der Huixquilucan (km 33+400 – 34+000)
- T Der Huixquilucan – XC (Amomolulco - Santiago Tianguistenco) (km 34+00 – 46+400)



Figura 4.1.3 Tramos más peligrosos en 2006 (carreteras libres)

Carreteras más peligrosas en 2007

De acuerdo con información del Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales [Referencia 14], la Carretera Federal Libre México-Toluca se incluye entre las vías que ocupan los primeros lugares, descartando las carreteras de cuota, con alto índice de accidentes por kilómetro, tal como se muestra en la Figura 4.1.4.

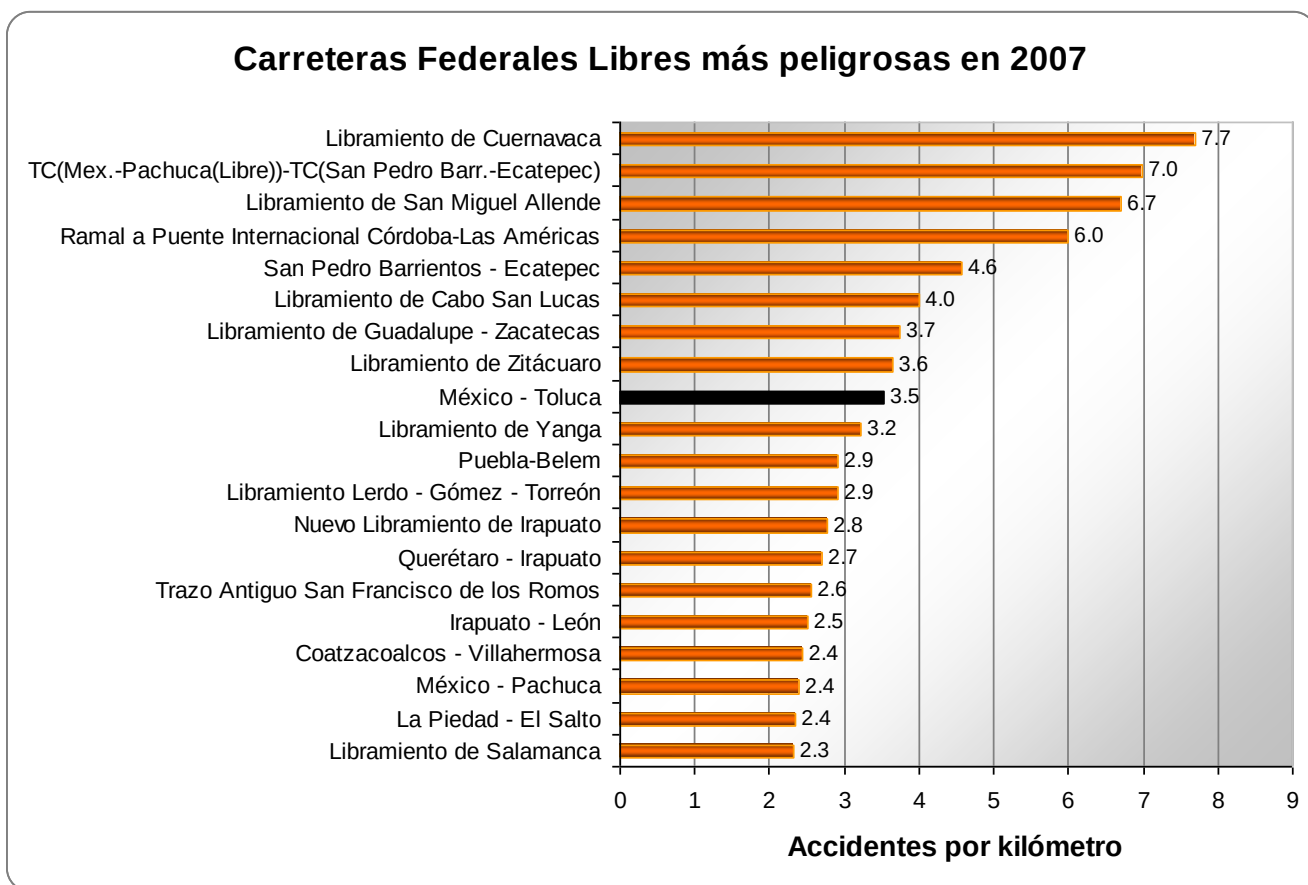


Figura 4.1.4 Carreteras Federales Libres más peligrosas en 2007

En lo que corresponde a los tramos más peligrosos, se muestran en la Figura 4.1.5 los primeros veinte tramos con el mayor número de accidentes por kilómetro en carreteras libres en el 2007.

En la misma Figura 4.1.5 se visualizan tres tramos que corresponden a la Carretera Federal Libre México-Toluca:

- Lim Edos DF/MEX - T Der Huixquilucan (km 33+400 – 34+000)
- T Der Huixquilucan – XC (Amomolulco - Santiago Tianguistenco) (km 34+00 – 46+400)
- XC (Amomolulco-Santiago Tianguistenco)-T Der Lerma (km 46+400 – 51+500)

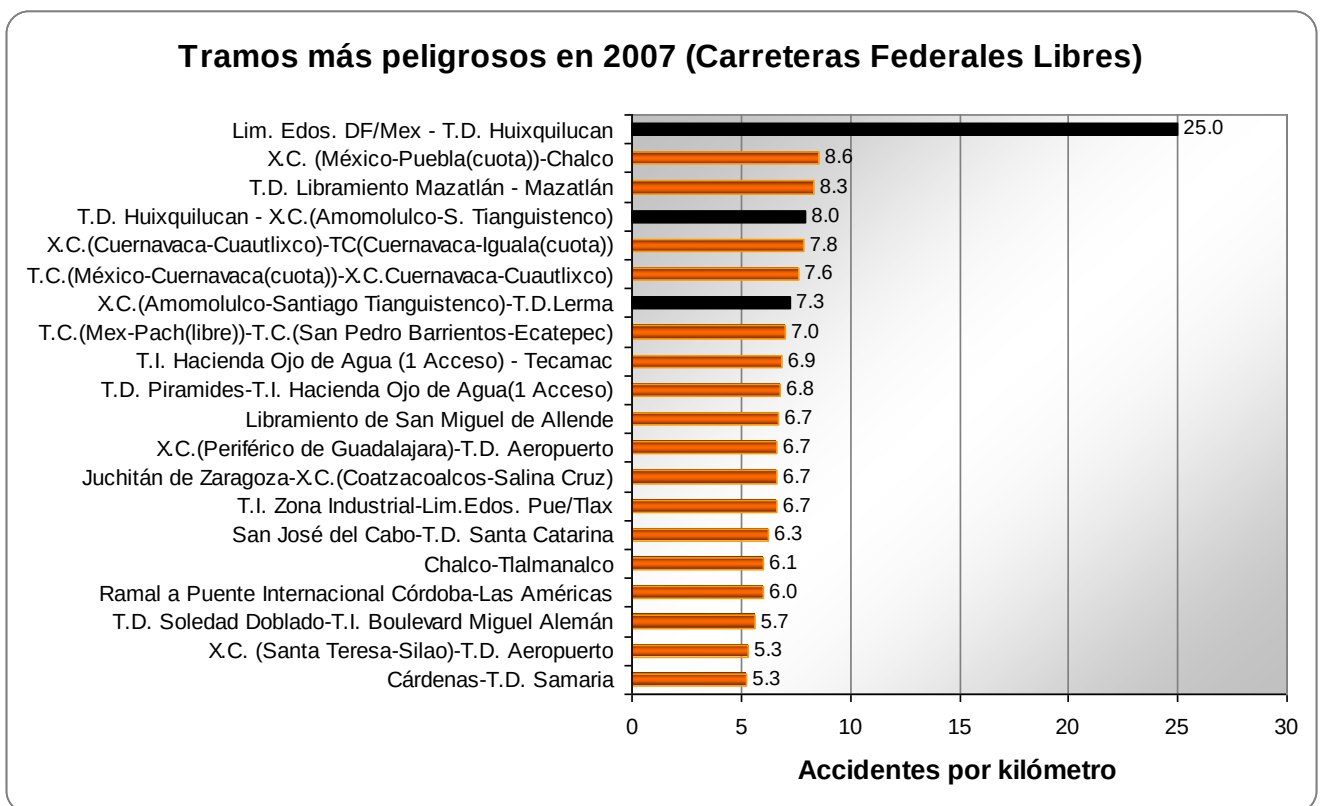


Figura 4.1.5 Tramos más peligrosos en 2007

Causa y tipo de accidentes registrados en 2006 en el tramo demostrativo

A partir de los registros de accidentes de la PFP en el 2006, se analizaron las causas atribuibles al conductor, al camino, a los agentes naturales y al vehículo.

Lo anterior se realizó para tres secciones de la Carretera Federal Libre México-Toluca, mismos que registran una mayor cantidad de percances, los cadenamientos que corresponden a dichas secciones son: 1) del 23+000 al 35+000, 2) del 36+000 al 39+000 y 3) del 44+000 al 48+000. Lo anterior, tanto para el cuerpo “A” (México-Toluca) como para el cuerpo “B” (Toluca-México).

Sección 1) Del km 23+000 al km 35+000

El total de accidentes registrados del km 23+000 al 35+000 cuerpo “A” y “B” es de 60 accidentes, como se muestra en la Figura 4.1.6.

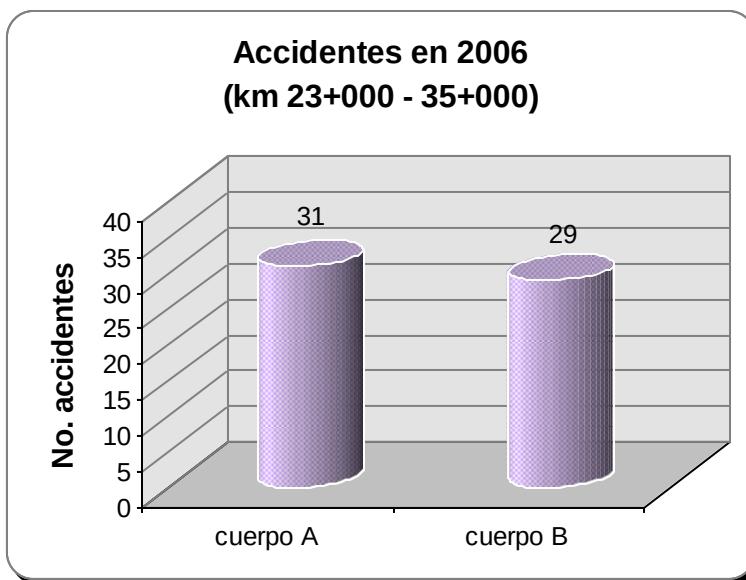


Figura 4.1.6 Accidentes en 2006

En lo que corresponde a las causas que ocasionan los accidentes, en la Figura 4.1.7 sobresalen con una mayor cantidad los accidentes con causas atribuibles al conductor (75,8%), seguidos de los “agentes naturales” (19,4%) y en menor porcentaje los accidentes atribuibles al camino y el vehículo con un 3.2% y 1.6% respectivamente.

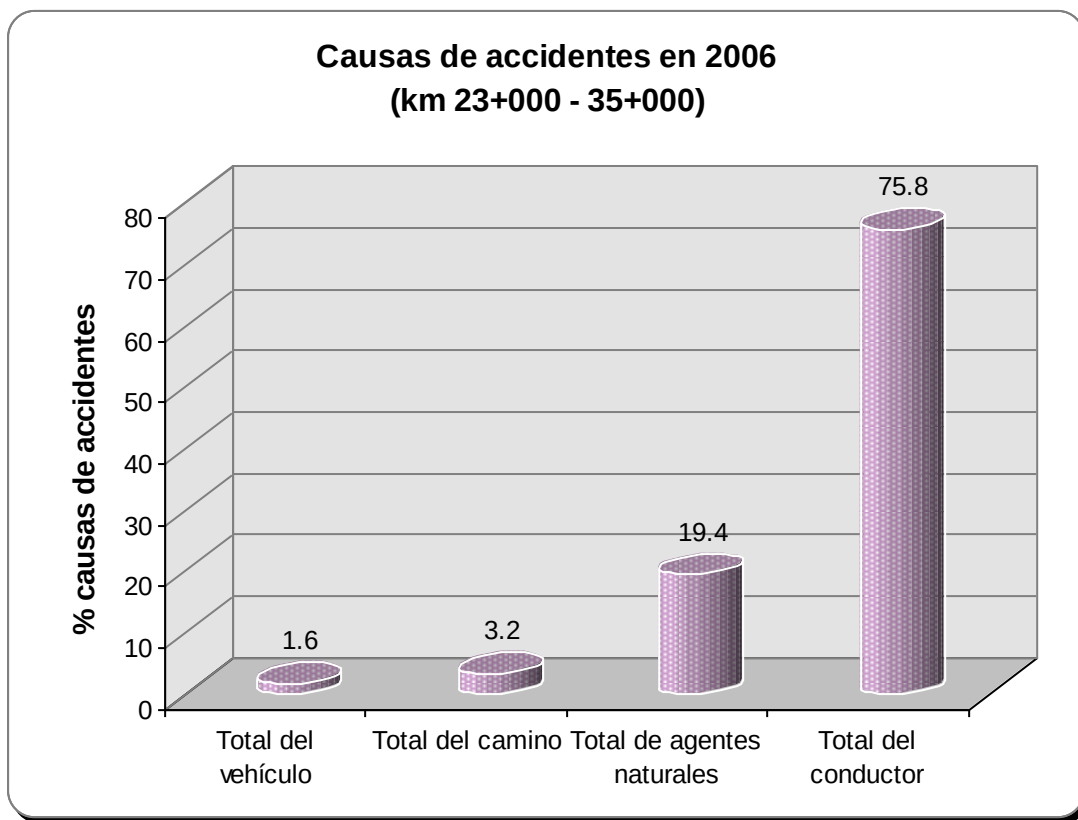


Figura 4.1.7 Causas de accidentes en 2006

Asimismo, en lo que corresponde sólo a causas atribuibles al conductor, se tiene que la “velocidad excesiva” representa la principal causa por la cual el conductor origina el percance, Figura 4.1.8.

En lo que corresponde a accidentes atribuibles al camino, la Figura 4.1.9 muestra que las principales causas que originan los accidentes son: el pavimento mojado y resbaloso.

Con respecto a los accidentes atribuibles a los agentes naturales en 2006, el 76,9% de los mismos cuentan con el factor “lluvia” al momento del percance, seguidos de “Niebla o humo” con 15,4% y finalmente “Nieve o granizo” con el 7,7% de los casos, tal como se muestra en la Figura 4.1.10.

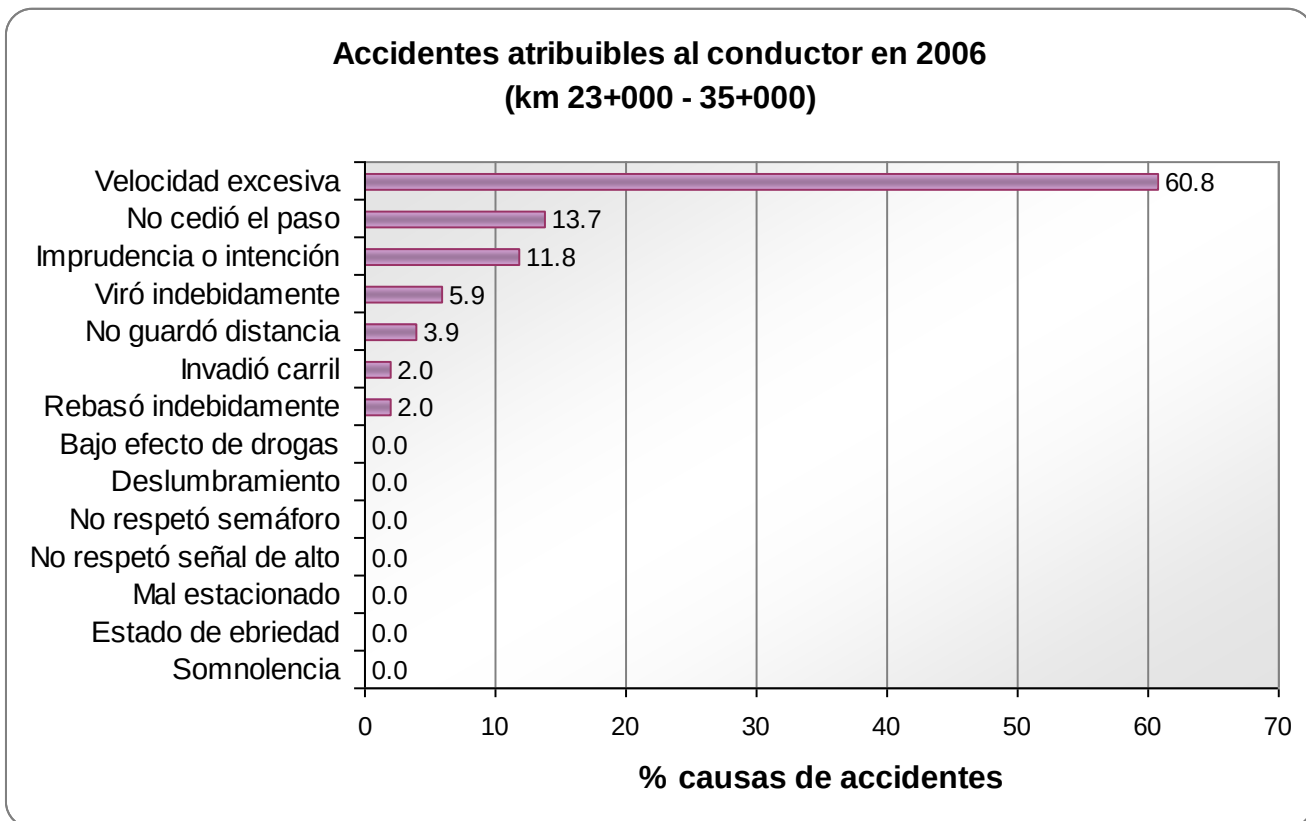


Figura 4.1.8 Accidentes atribuibles al conductor en 2006

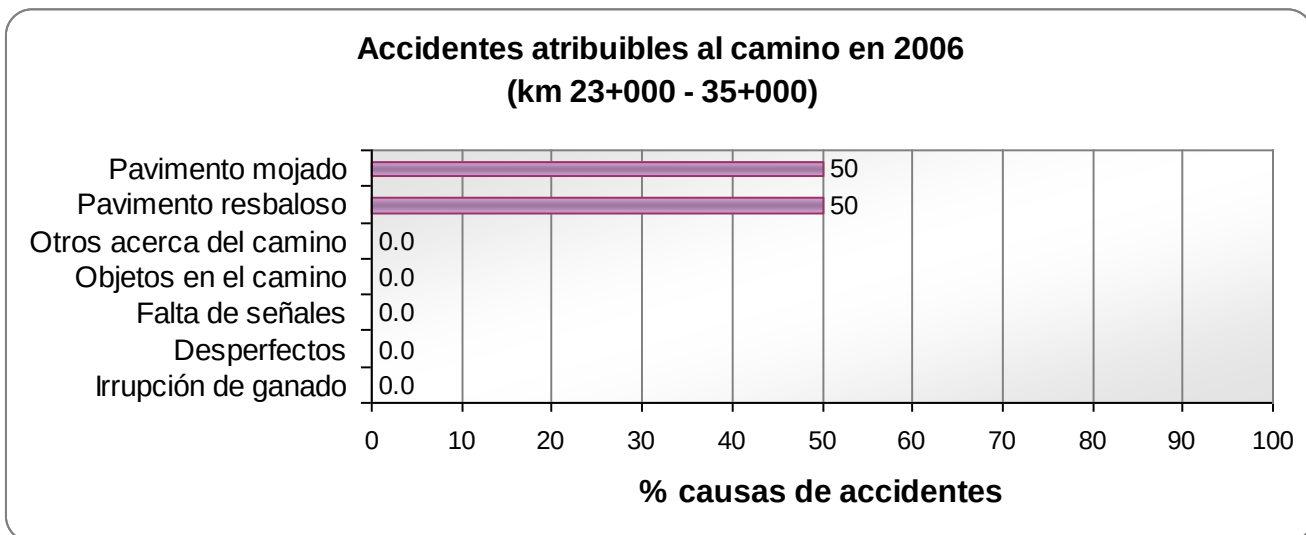


Figura 4.1.9 Accidentes atribuibles al camino en 2006

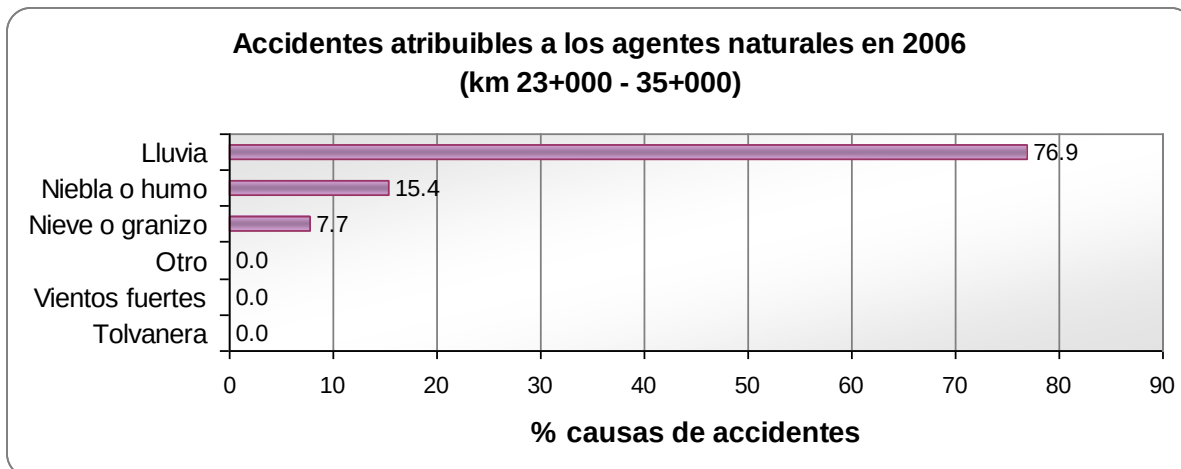


Figura 4.1.10 Accidentes atribuibles a los agentes naturales en 2006

El tipo de accidente que más se registró fue el de “choque vs vehículo motor en tránsito”, con 19 accidentes registrados del km 23+000 al 35+000, seguido de “choque vs objeto fijo” con 12 accidentes; “choque por alcance” con 6 accidentes; “Salida del camino y choche vs objeto fijo” con 5 accidentes, como se muestra en la Figura 4.1.11.

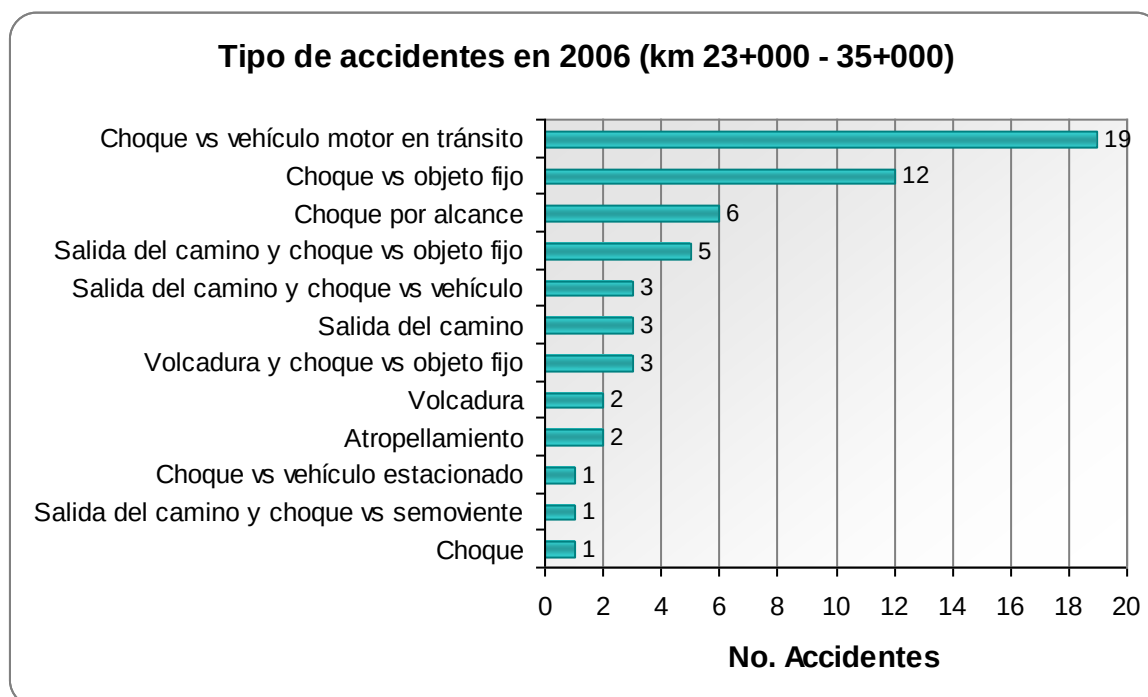


Figura 4.1.11 Tipo de accidentes en 2006

Sección 2) Del km 36+000 al km 39+000

El total de accidentes registrados del km 36+000 al 39+000 cuerpo “A” y “B” es de 24 accidentes, como se muestra en la Figura 4.1.12.

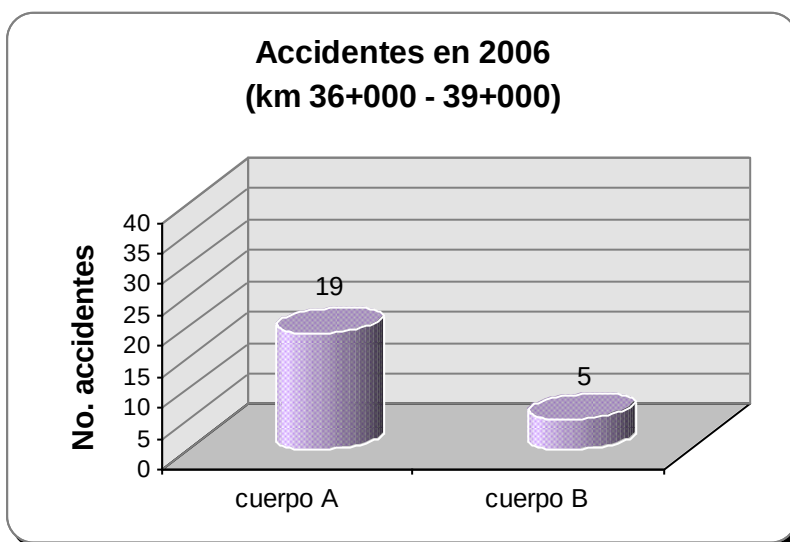


Figura 4.1.12 Accidentes en 2006

En lo que corresponde a las causas que ocasionan los accidentes, las Figuras 4.1.13 y 4.1.14 muestran que del km 36+000 al 39+000 cuerpo “A” y “B” sobresalen también con una mayor cantidad los accidentes con causas atribuibles al conductor (85% y 40% respectivamente). En el cuerpo “B” también con 40% los accidentes con causas atribuibles al vehículo.

Con respecto a las causas atribuibles al conductor, se tiene que en el cuerpo “A” la “velocidad excesiva” representó también la principal causa por la cual el conductor originó el percance. Lo mismo se presentó en el cuerpo “B”.

El tipo de accidente que más se registró fue el de “salida del camino”, seguido de “choque por alcance”, como se muestra en la Figura 4.15.

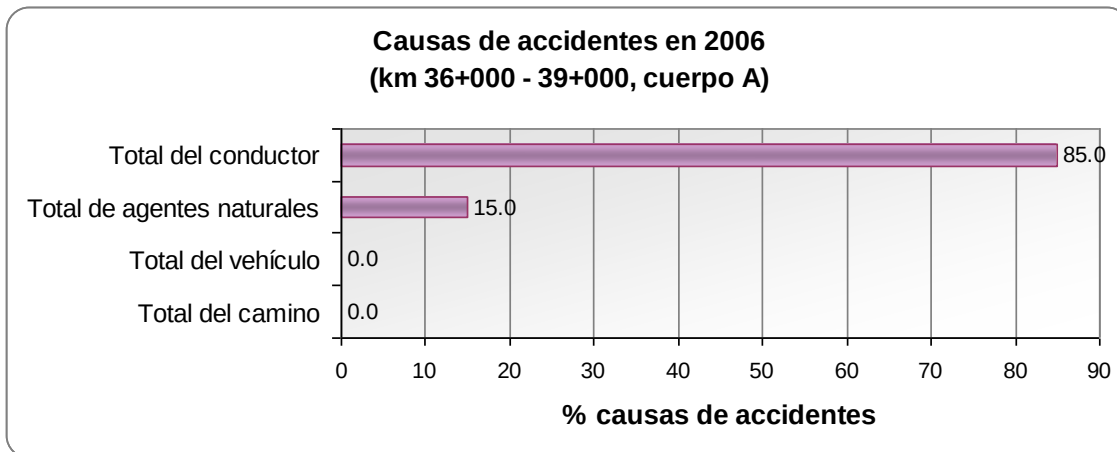


Figura 4.1.13 Causas de accidentes en 2006

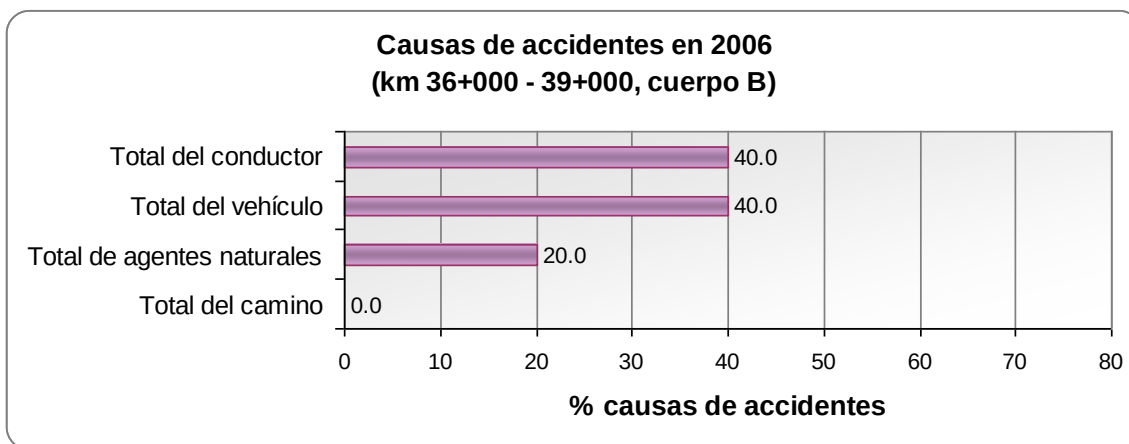


Figura 4.1.14 Causas de accidentes en 2006

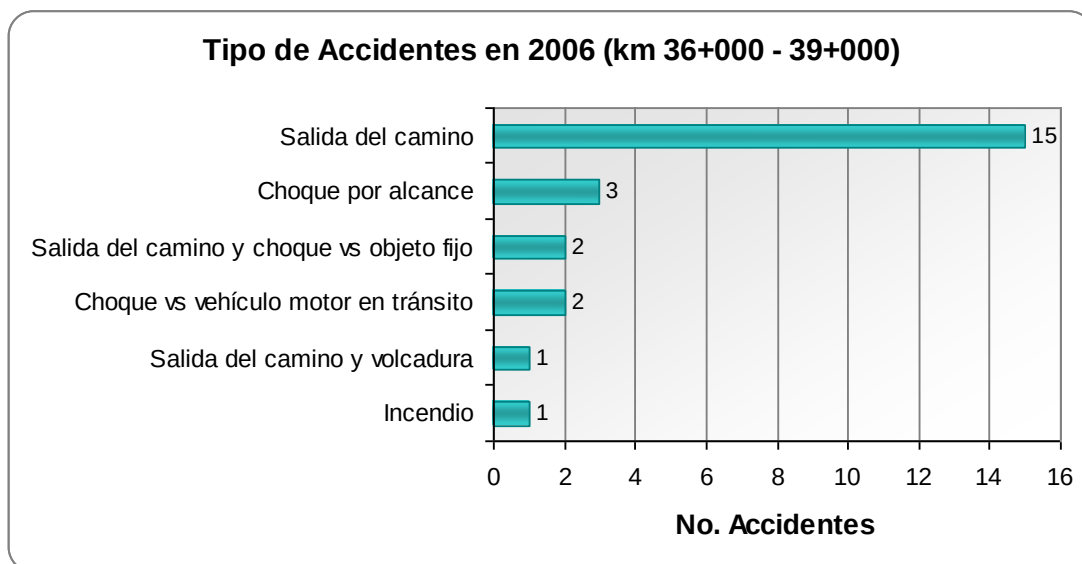


Figura 4.1.15 Tipo de accidentes en 2006

Sección 3) Del km 44+000 al km 48+000

El total de accidentes registrados del km 44+000 al 48+000 cuerpo “A” y “B” es de 30 accidentes, como se muestra en la Figura 4.1.16.

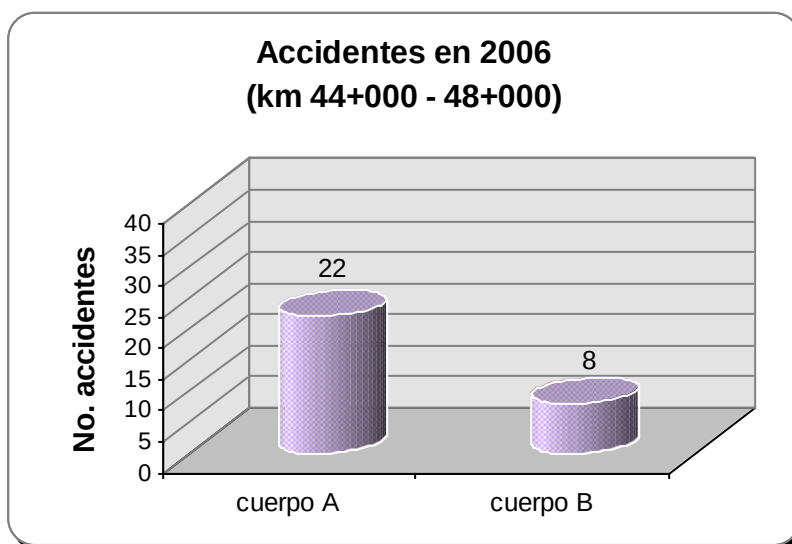


Figura 4.1.16 Accidentes en 2006

En lo que corresponde a las causas que ocasionan los accidentes, las Figuras 4.1.17 y 4.1.18 muestran que tanto en el cuerpo “A” como en el “B” sobresalen con una mayor cantidad (78,6% y 90% respectivamente) los accidentes con causas atribuibles al conductor.

Al igual que en las dos secciones anteriores, en lo que corresponde a causas atribuibles al conductor, se tiene que en el cuerpo “A” la “velocidad excesiva” representa la principal causa por la cual el conductor origina el percance, Figura 4.1.19. Lo mismo se presenta en el cuerpo “B”, Figura 4.1.20.

El tipo de accidente que más se registró fue el de “salida del camino”, seguido de “choque vs vehículo motor en tránsito”, como se muestra en la Figura 4.1.21.

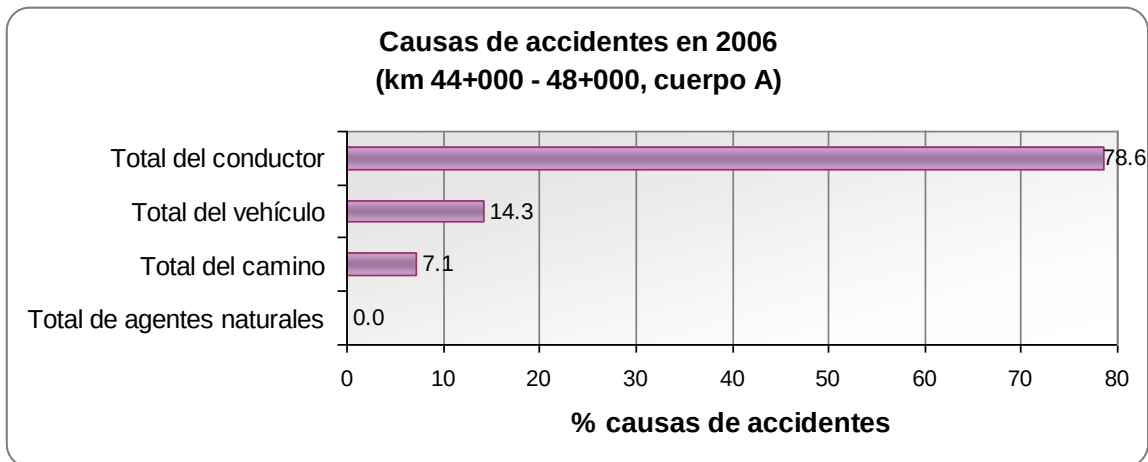


Figura 4.1.17 Causas de accidentes en 2006

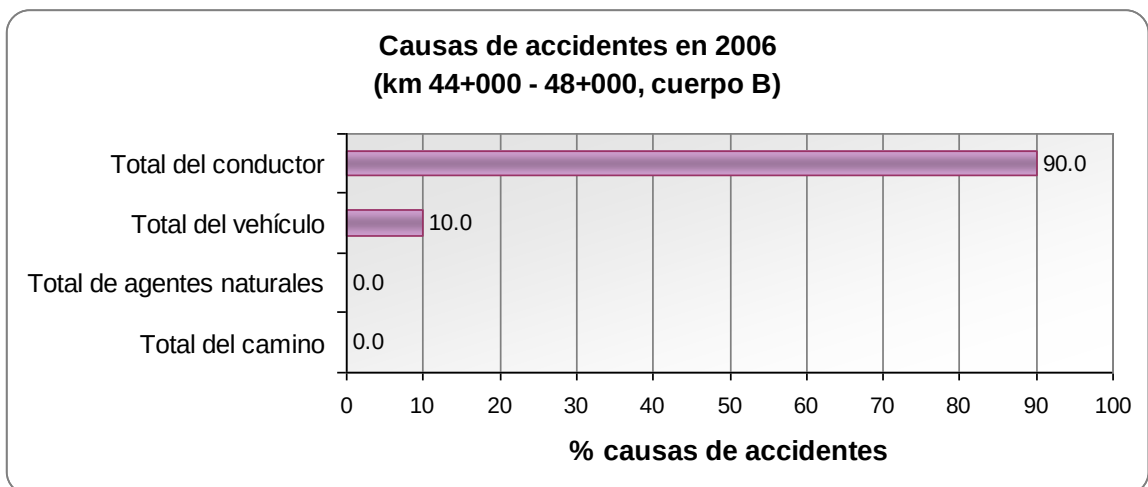


Figura 4.1.18 Causas de accidentes en 2006

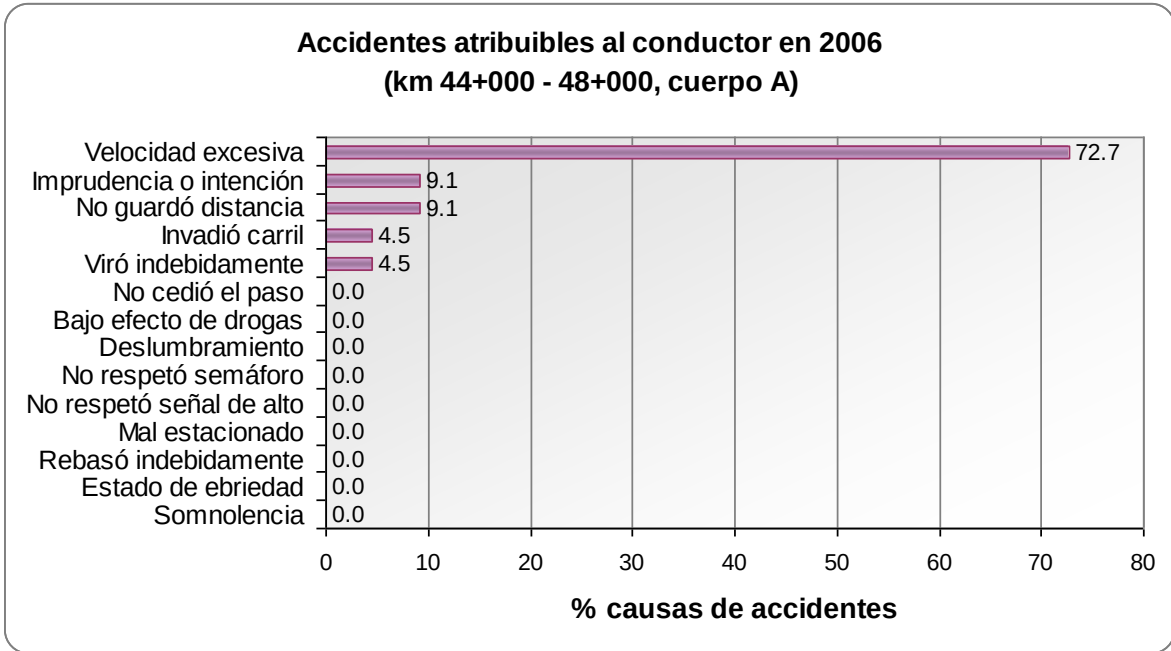


Figura 4.1.19 Accidentes atribuibles al conductor en 2006

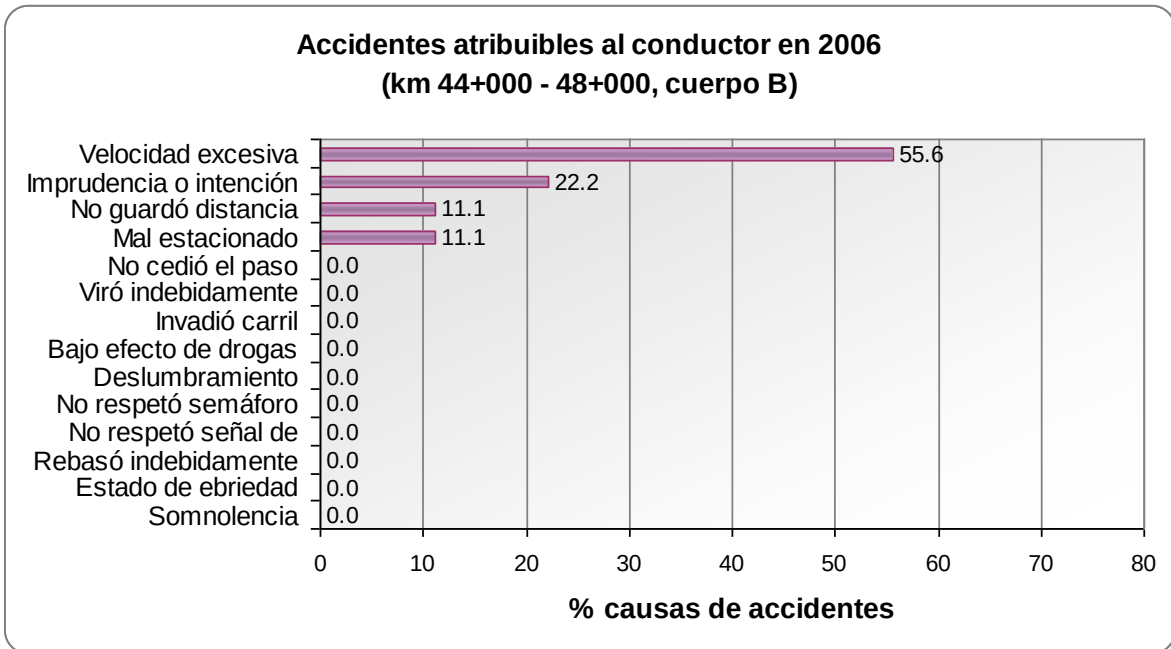


Figura 4.1.20 Accidentes atribuibles al conductor en 2006

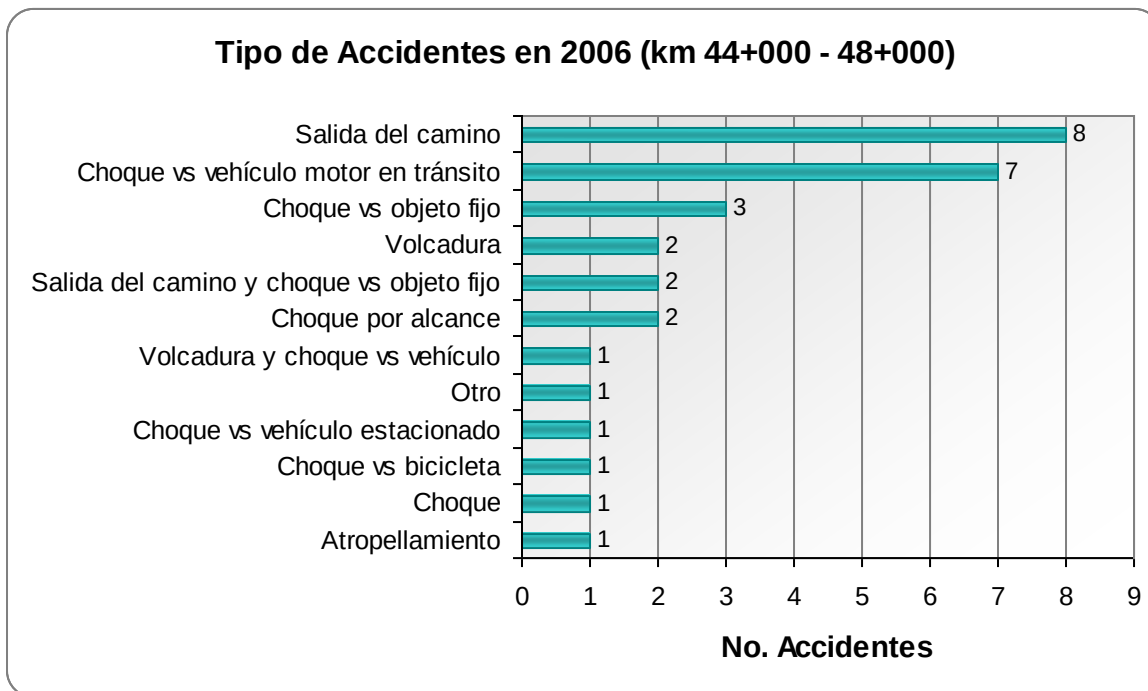


Figura 4.1.21 Tipo de accidentes en 2006

Causa y tipo de accidentes registrados en 2007 en el tramo demostrativo

A partir de los registros de accidentes de la PF en el 2007, se analizaron las causas de los accidentes atribuibles al conductor, al camino, a los agentes naturales y al vehículo.

Lo anterior se realizó para las tres secciones ya mencionadas de la Carretera Federal Libre México-Toluca.

Sección 1) Del km 23+000 al km 35+000

El total de accidentes registrados del km 23+000 al 35+000 cuerpos “A” y “B” es de 63 accidentes, como se muestra en la Figura 4.1.22.

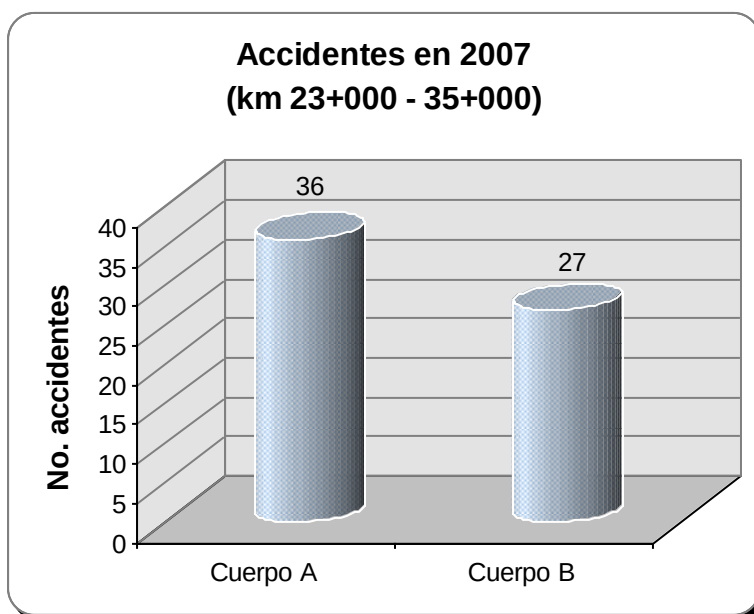


Figura 4.1.22 Accidentes en 2007

La distribución mensual de los 63 accidentes registrados en 2007 del km 23+000 al 35+000 se observa en la Figura 4.1.23, en la que se presenta una distribución prácticamente uniforme durante casi todos los meses del año.

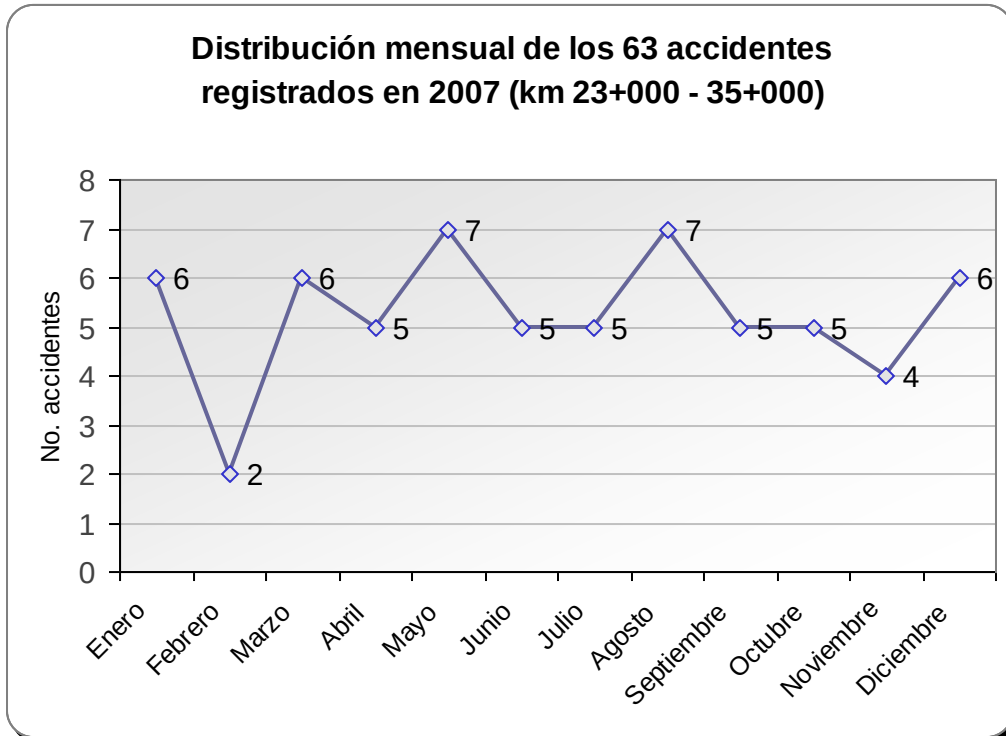


Figura 4.1.23 Distribución mensual de los accidentes en 2007

En lo que corresponde a las causas que ocasionan los accidentes, la Figura 4.1.24 muestra que del km 23+000 al 35+000 cuerpos “A” y “B” sobresalen con una mayor cantidad los accidentes con causas atribuibles al conductor, el 61,4% del total registrado, seguido de las causas atribuibles a los agentes naturales con un 25,3%, finalmente las causas atribuibles al camino y al vehículo con 10,8% y 2,4% respectivamente.

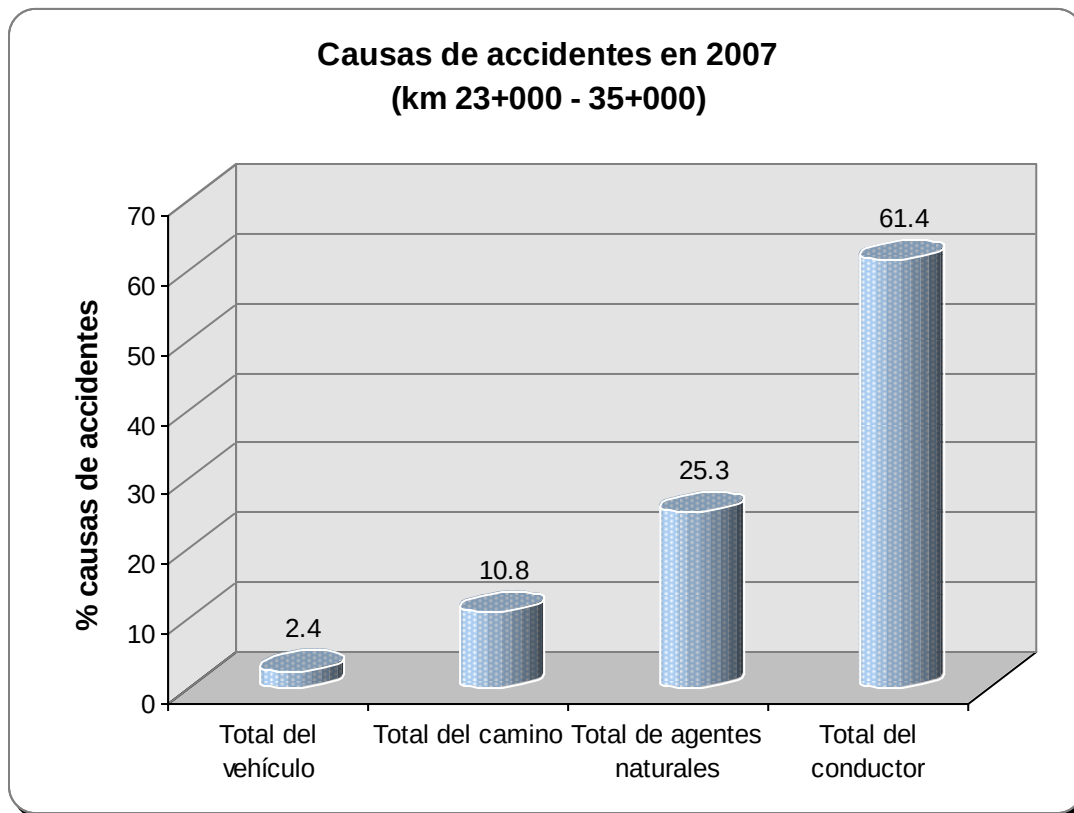


Figura 4.1.24 Causas de accidentes en 2007

Asimismo, en lo que corresponde sólo a causas atribuibles al conductor, se tiene que la “velocidad excesiva” representa la principal causa por la cual el conductor origina el percance, con un 69,7% del total registrado, ver Figura 4.1.25.

En lo que corresponde a los accidentes atribuibles a los agentes naturales, la causa que origina los accidentes fue en mayor proporción la “lluvia” y sólo en dos casos la causa fue “niebla o humo” presente en el momento del percance.

En cuanto a los accidentes atribuibles al camino, la causa que originó los accidentes fue el “pavimento mojado”, y sólo en dos casos, la causa fue además el “pavimento resbaloso”

El tipo de accidente que más se registró fue el de “choque vs vehículo motor en tránsito”, seguido de “salida del camino”, como se muestra en la Figura 4.1.26.

**Causas de accidentes atribuibles al conductor en 2007
(km 23+000 - 35+000)**

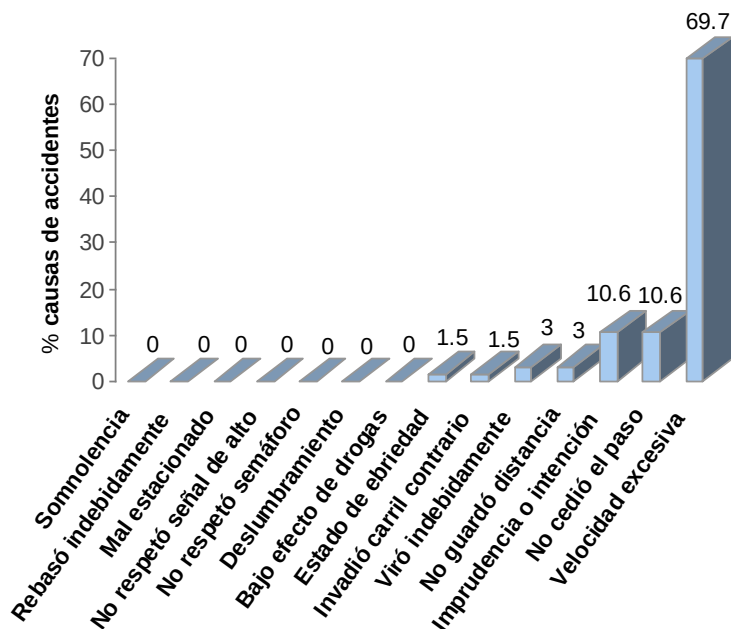


Figura 4.1.25 Causas de accidentes atribuibles al conductor en 2007

Tipo de Accidentes en 2007 (km 23+000 - 35+000)

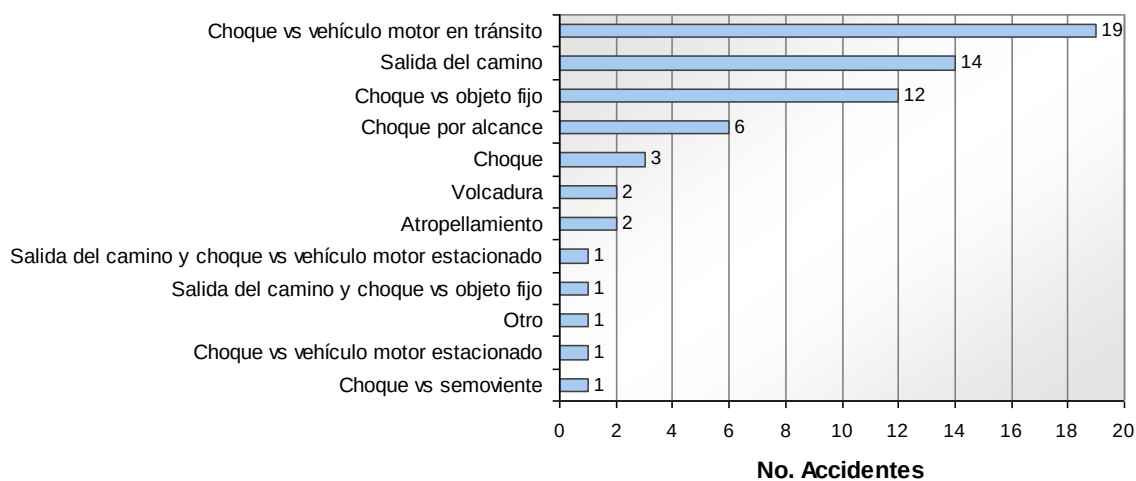


Figura 4.1.26 Tipo de accidentes en 2007

Sección 2) Del km 36+000 al km 39+000

El total de accidentes registrados del km 36+000 al 39+000 cuerpos “A” y “B” es de 30 accidentes, como se muestra en la Figura 4.1.27.

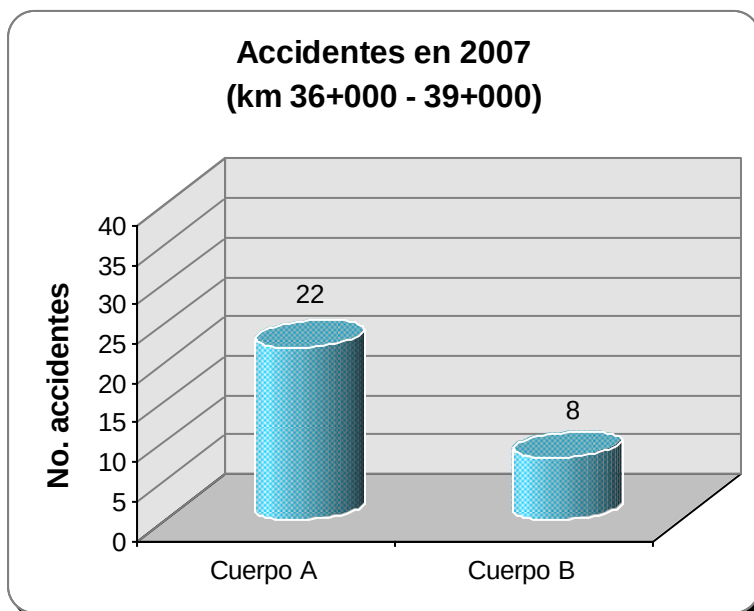


Figura 4.1.27 Accidentes en 2007

La distribución mensual de los 30 accidentes registrados en 2007 del km 36+000 al 39+000 se observa en la Figura 4.1.28, en la que se presenta un aumento de percances entre los meses de junio a septiembre, lo que coincide con la época de lluvia y por lo tanto con condiciones de pavimento mojado y resbaloso en la vía.

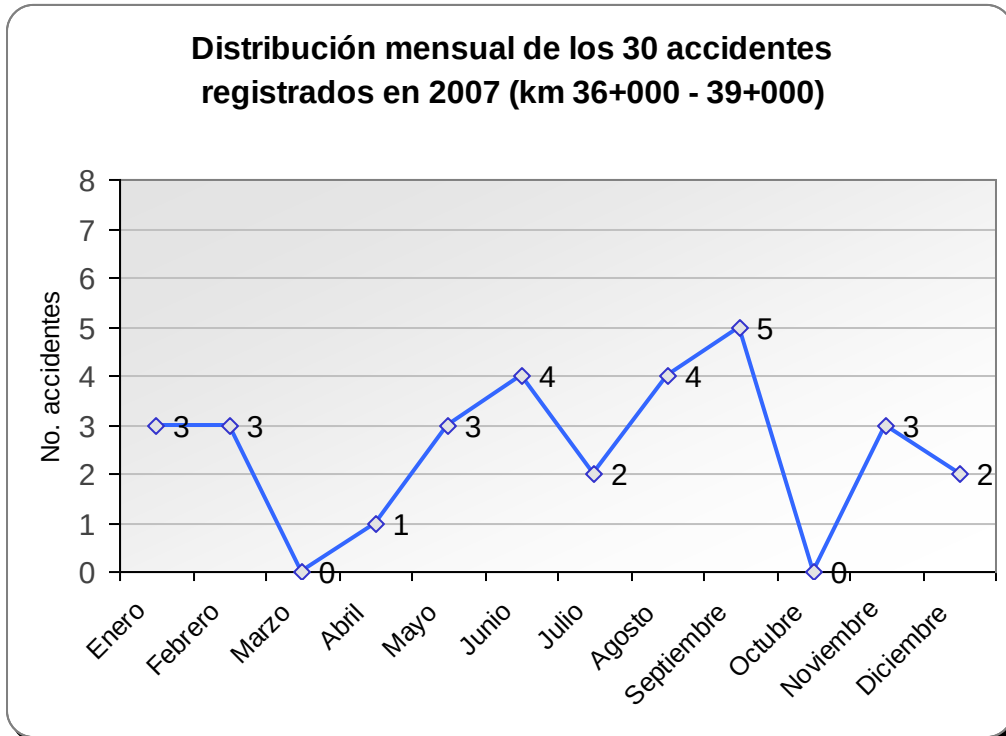


Figura 4.1.28 Distribución mensual de los accidentes en 2007

En lo que corresponde a las causas que ocasionan los accidentes, la Figura 4.1.29 muestra que del km 36+000 al 39+000 cuerpos "A" y "B" sobresalen con una mayor cantidad los accidentes con causas atribuibles al conductor, el 58,3% del total registrado, seguido de las causas atribuibles a los agentes naturales con un 33,3%, finalmente las causas atribuibles al camino y al vehículo con 5,6% y 2,8% respectivamente.

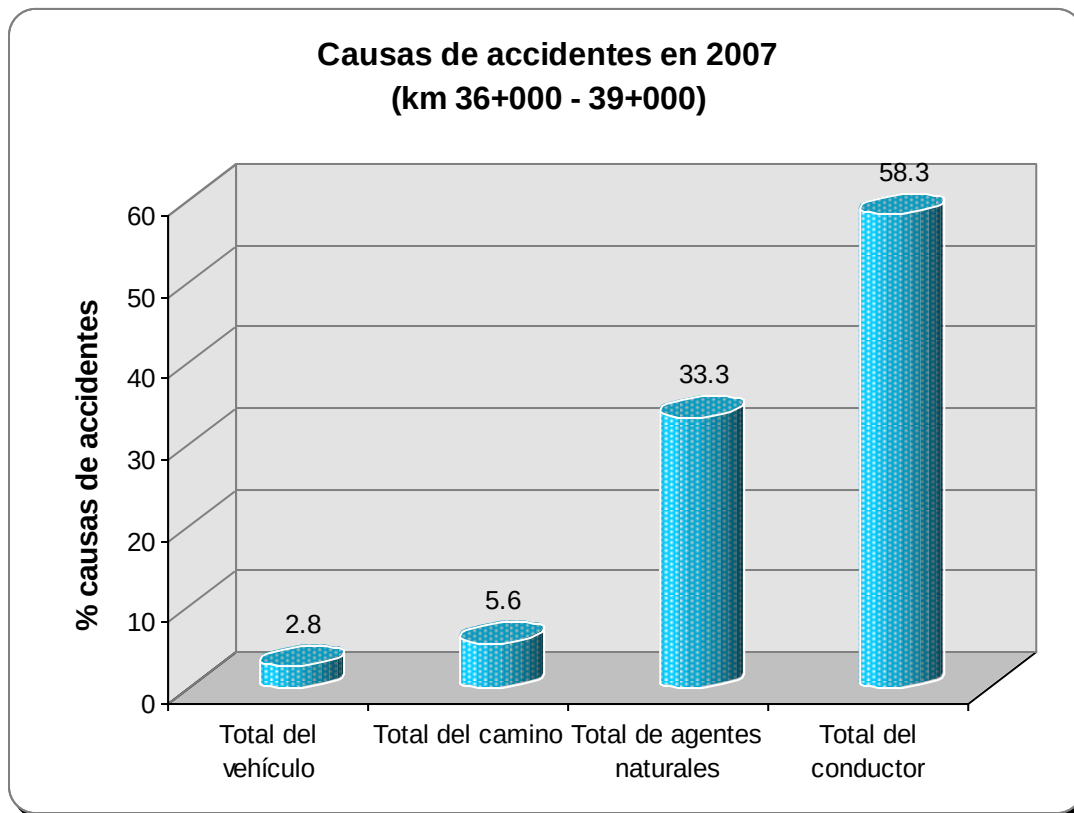


Figura 4.1.29 Causas de accidentes en 2007

Asimismo, en lo que corresponde sólo a causas atribuibles al conductor, se tiene que la “velocidad excesiva” representa la principal causa por la cual el conductor origina el percance, con un 81% del total registrado, ver Figura 4.1.30.

En lo que corresponde a los accidentes atribuibles a los agentes naturales, la causa que origina los accidentes fue en todos los casos la “lluvia”, presente al momento del percance.

En cuanto a los accidentes atribuibles al camino, la causa que originó los accidentes fue el “pavimento mojado”, y sólo en un caso, la causa fue además el “pavimento resbaloso”

El tipo de accidente que más se registró fue el de “salida del camino”, seguido de “choque vs vehículo motor en tránsito” y “choque por alcance”, como se muestra en la Figura 4.1.31.

**Causas de accidentes atribuibles al conductor en 2007
(km 36+000 - 39+000)**

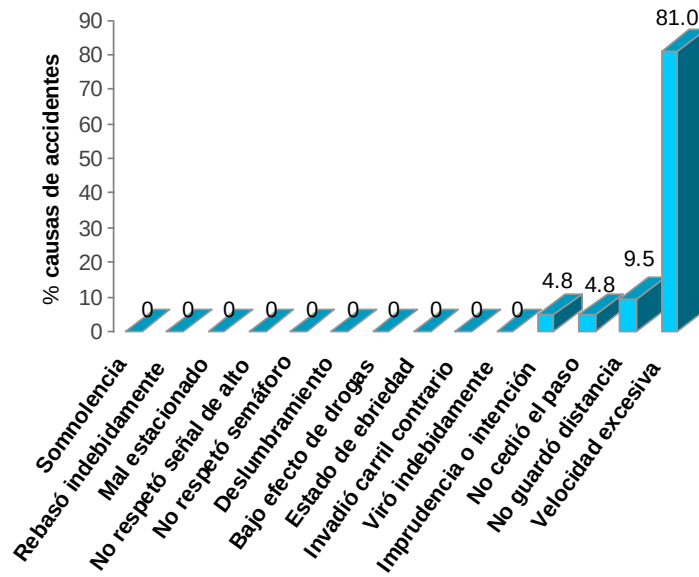


Figura 4.1.30 Causas de accidentes atribuibles al conductor en 2007

Tipo de Accidentes en 2007 (km 36+000 - 39+000)

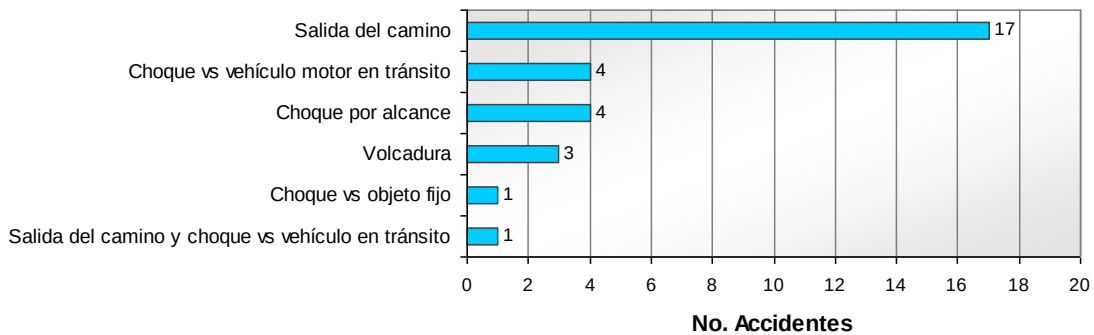


Figura 4.1.31 Tipo de accidentes en 2007

Sección 3) Del km 44+000 al km 48+000

El total de accidentes registrados del km 44+000 al 48+000 cuerpos “A” y “B” es de 29 accidentes, como se muestra en la Figura 4.1.32.

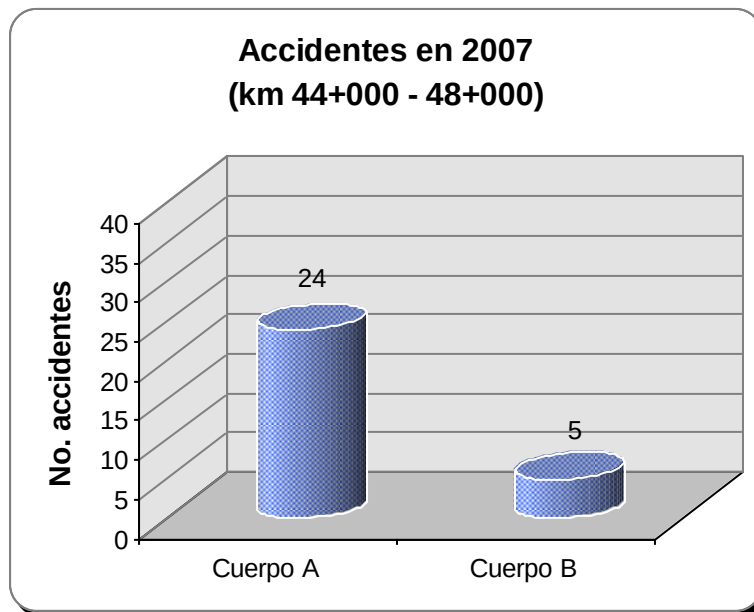


Figura 4.1.32 Accidentes en 2007

La distribución mensual de los 29 accidentes registrados en 2007 del km 44+000 al 48+000 se observa en la Figura 4.1.33, en la que se presentan los accidentes durante todos los meses del año, con un incremento de los mismos en los meses de julio y agosto, lo que coincide como ya se mencionó, con la época de lluvia y con ello condiciones de pavimento mojado y resbaloso.

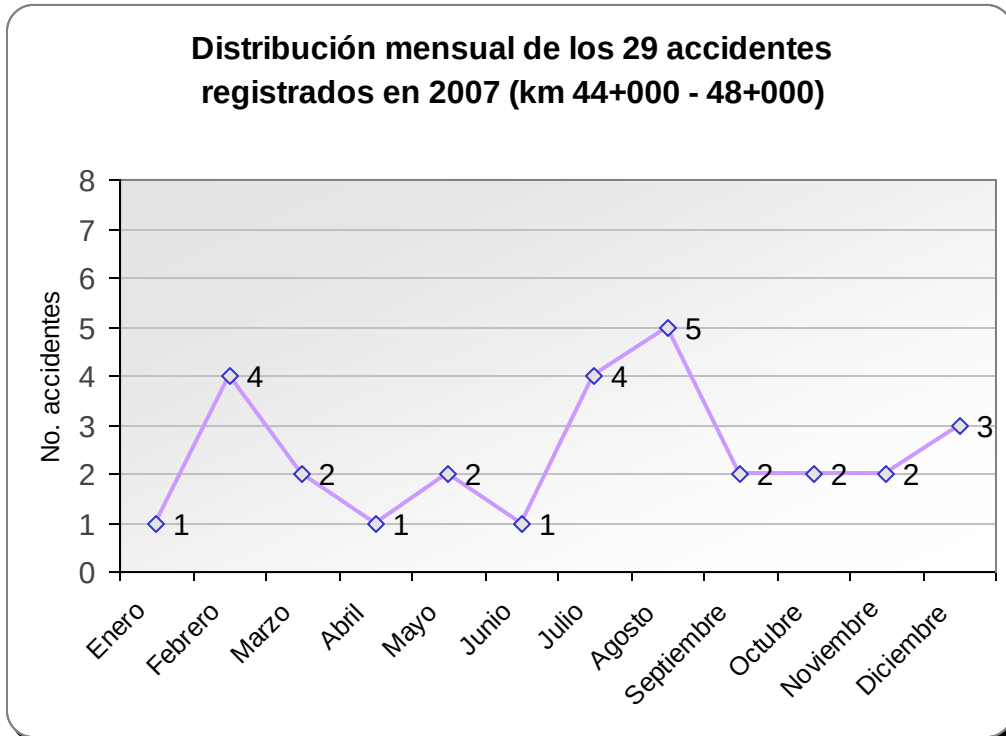


Figura 4.1.33 Distribución mensual de los accidentes en 2007

En lo que corresponde a las causas que ocasionan los accidentes, la Figura 4.1.34 muestra que del km 44+000 al 48+000 cuerpos “A” y “B” sobresalen con una mayor cantidad los accidentes con causas atribuibles al conductor, el 70% del total registrado, seguido de las causas atribuibles al camino con un 13,3%, finalmente las causas atribuibles a los agentes naturales y al vehículo con 10% y 6,7% respectivamente.

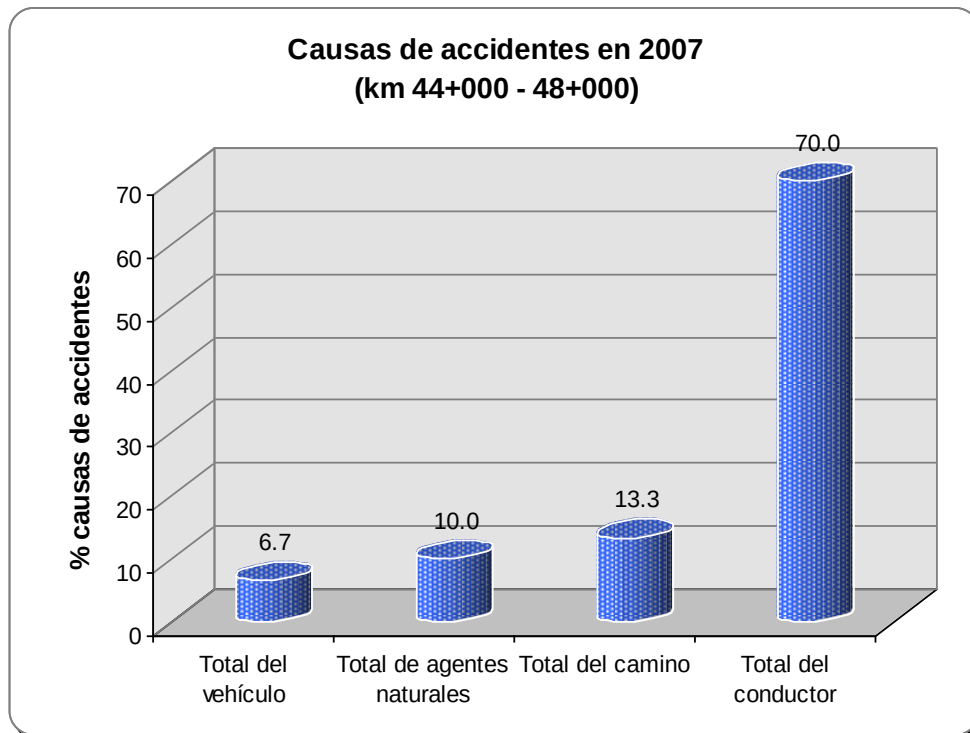


Figura 4.1.34 Causas de accidentes en 2007

Asimismo, en lo que corresponde sólo a causas atribuibles al conductor, se tiene que la “velocidad excesiva” representa la principal causa por la cual el conductor origina el percance, con un 76,2% del total registrado, ver Figura 4.1.35.

En lo que corresponde a los accidentes atribuibles al camino, la causa que originó los accidentes fue en todos los casos el “pavimento mojado y resbaloso” en el momento del percance.

En lo que corresponde a los accidentes atribuibles a los agentes naturales, la causa que origina los accidentes fue en todos los casos la “lluvia” presente al momento del percance.

El tipo de accidente que más se registró fue el de “salida del camino”, seguido de “choque vs vehículo motor en tránsito”, como se muestra en la Figura 4.1.36.

**Causas de accidentes atribuibles al conductor en 2007
(km 44+000 - 48+000)**

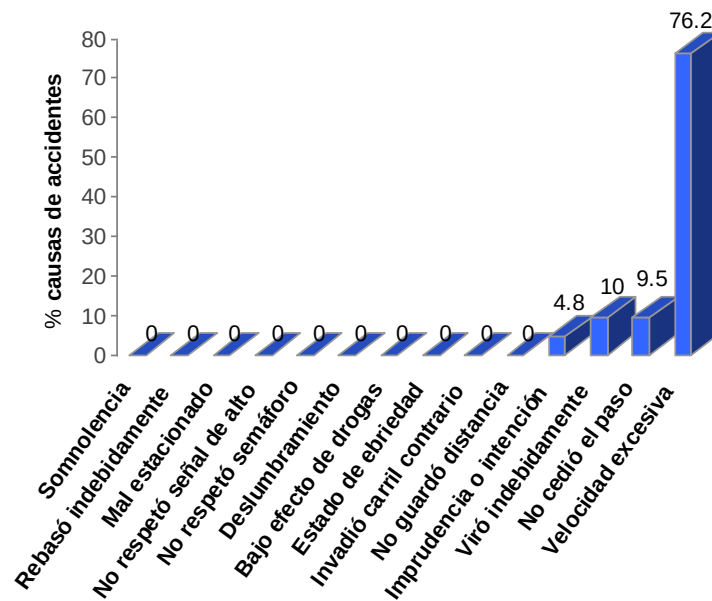


Figura 4.1.35 Causas de accidentes atribuibles al conductor en 2007

Tipo de Accidentes en 2007 (km 44+000 - 48+000)

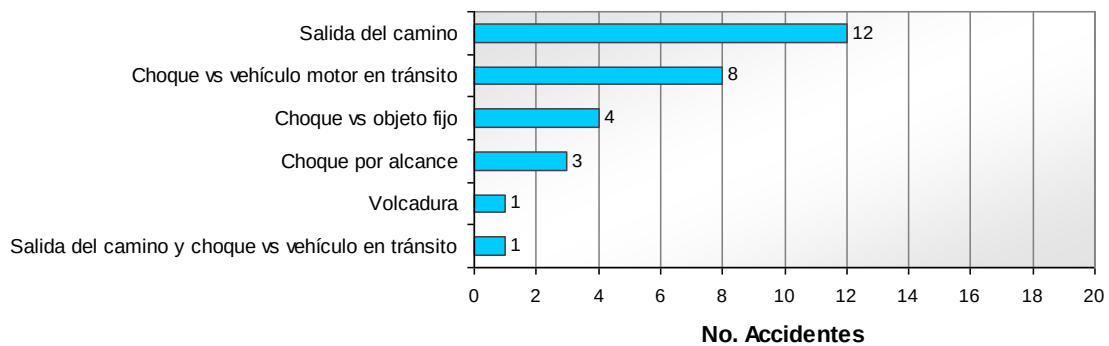


Figura 4.1.36 Tipo de accidentes en 2007

4.2 Visita de campo al tramo

Ubicación Geográfica

Como ya se comentó en el capítulo 3, la selección del tramo carretero estudiado se determinó de acuerdo a diferentes factores, destacando principalmente el alto índice de accidentalidad a nivel nacional. Es por ello que previo a la visita de campo, se revisó y analizó cuidadosamente en la base de datos de accidentes, los principales subtramos que pudieran ser considerados como sitios o tramos de alto índice de percances, que comúnmente son denominados como puntos negros. Una vez que estos puntos fueron identificados y ubicados en las bases de datos, se procedió entonces a situarlos geográficamente en el Sistema de Información Geográfica ArcView, SIGCOV MEX 1.

Para asignar el nombre y tramo de identificación correspondiente, se consideró lo registrado en Datos Viales 2009, reportado por la Dirección General de Servicios Técnicos.

A continuación se describen algunas de las principales características del tramo seleccionado, así como las vistas en ArcView:

- ◆ Localización del tramo: Estado de México
- ◆ Carretera: México – Toluca Libre
- ◆ Tramo: T. Der. Cuajimalpa (1° acceso) Caseta Chamapa-La Venta – T. Der. Lerma
- ◆ Ruta: MEX-015
- ◆ Clave: 00447
- ◆ Cadenamiento: Km 20+560 al Km 51+000
- ◆ Longitud del Tramo: 30,4 km

La Figura 4.2.1 muestra la vista previa del tramo en estudio, elaborada con el Sistema de Información Geográfica ArcView, SIGCOV MEX 1. En ella, se identifica la Carretera Federal Libre México-Toluca en trazo color amarillo, y a partir de la Caseta Chamapa- La Venta el tramo en estudio. La carretera de cuota se visualiza en color verde.

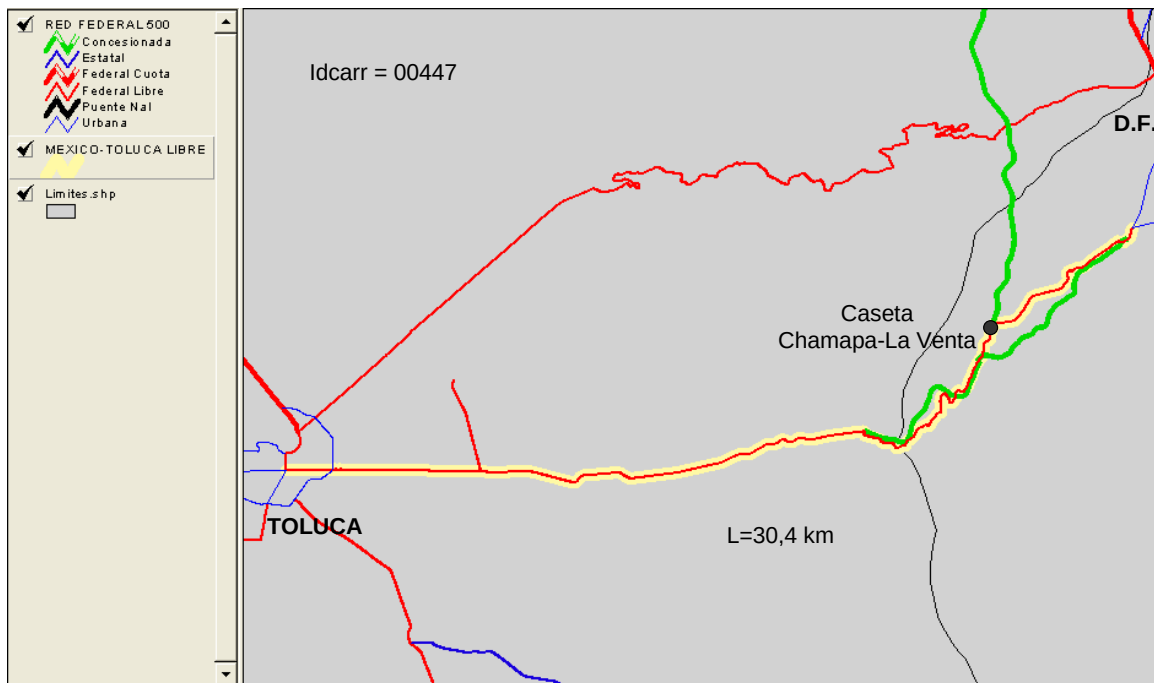


Figura 4.2.1 Vista previa del tramo en estudio

Descripción del Tramo

Durante los trabajos de campo, fue importante contar con la siguiente información:

Nombre: México – Toluca Libre

No. de Carriles: 2 por sentido, con acotamientos

Vel. Máx. Permitida: 50 km/hr en curvas y 90 km/hr en rectas

TDPA en 2008: cuerpo “A” (23879) y cuerpo “B” (25030) vehículos

Superficie de rodamiento: Pavimento de concreto asfáltico

Condiciones meteorológicas Recorrido Diurno: Despejado, seco, viento ligero.

Equipo Utilizado: Cámaras digitales, video, GPS, odómetro, cintas métricas, equipo de computo, pistola láser y de radar (medición de velocidades) y vehículos terrestres de apoyo.

Descripción del recorrido

Las tareas efectuadas fueron las siguientes: filmar y narrar el recorrido de inspección de todo el tramo (incluyendo los dos cuerpos de la carretera), tomar las fotografías necesarias para validar y respaldar la información que se levante en campo. Por último, se realiza el proceso de georreferenciar la ruta incluyendo en ella algunas de las características geométricas de la carretera, señalamiento vertical y puntos de interés tales como intersecciones, accesos, estaciones de servicio, desviaciones y lugares donde se llevará a cabo la toma de velocidades de operación.

En el levantamiento con GPS, se considera conveniente tomar como punto inicial una señal SII-14, SII-15 o bien un punto de referencia física fácil de ubicar (caseta, puente, intersección, etc.). Para el recorrido del tramo en estudio, se eligió la Caseta Chamapa-La Venta como inicio. Los recorridos general y por cada cuerpo se hacen abordo del vehículo a una velocidad promedio de 60 km/h.

A partir del recorrido general se seleccionan los lugares donde se realizará la toma de velocidades, el proceso de registro de velocidades consiste en registrar la información en el formato correspondiente.

Un aspecto importante durante esta actividad es evitar en la medida de lo posible que los conductores noten la presencia de los instrumentos de medición de velocidades, ya que de no hacerlo así, se corre el riesgo de que la información obtenida no refleje necesariamente las condiciones reales de operación por parte de los conductores.

A continuación se detalla la metodología seguida durante el operativo de campo:

1.- Recorrido general del tramo. Este recorrido se realizó durante el transcurso de la mañana, considerando ambos cuerpos de la Carretera Federal Libre México – Toluca. Como se mencionó anteriormente, dicho recorrido se hizo abordo del vehículo a una velocidad promedio de 60 km/h. Se tomó un video general del tramo, narrando en cada momento el kilometraje indicado en las señales informativas de identificación (SII-14 y

SII-15), así como la descripción de algunos puntos importantes, tales como desviaciones, casetas, estaciones de servicio, etc. Este recorrido, tuvo como finalidad proporcionar una idea preliminar de los alineamientos horizontal y vertical del tramo en estudio. Asimismo, se eligieron y ubicaron los lugares estratégicos para la toma de velocidades en cada uno de los cuerpos.

Paralelamente se inició el levantamiento con GPS del tramo, para ello se eligió como punto inicial el km 23+000 del cuerpo “A” (Caseta Chamapa-La Venta) y como punto final el km 21+000 del cuerpo “B” (Monumento ubicado al inicio de la zona urbana de Toluca). En particular para este recorrido, el punto inicial se ubico a un costado de la caseta Chamapa-La Venta, dado que tanto la carretera libre como la de cuota comparten un tramo de aproximadamente 30 kilómetros, aunque sus carriles se encuentran separados por una barrera.

Durante la georreferenciación, también se levantaron algunos puntos intermedios, tales como los cadenamientos de kilometrajes cerrados (SII-15), algunas intersecciones, pasos a nivel, estaciones de servicio, lugares con paraderos para venta de alimentos, puentes peatonales, entre otros. Esta información también fue recabada en forma manual, utilizando algunos de los formatos elaborados ex profeso para está actividad. Por último, la información obtenida (“shapes” de puntos y líneas) se descargó en la Laptop y se hizo una primera validación en campo, para verificar que los datos obtenidos fueran correctos.

2.- Recorrido del cuerpo “A”. Esta actividad se realizó abordo del vehículo, el recorrido del tramo se inicio en el km 23+000 cuerpo “A” a un costado de la Caseta Chamapa-La Venta y finalizó en el km 49+000 de la Carretera Federal Libre México – Toluca, como se muestra en las siguientes fotografías:



Fotografía 4.2.1 y 4.2.2 Fotografías tomadas durante el recorrido general



**Fotografías 4.2.3 y 4.2.4 Vistas panorámicas de la carretera federal libre
México – Toluca**

Simultáneamente se georreferenció el tramo, es decir, se realizó el levantamiento del camino (líneas) así como las señales SII-14, SII-15 y los sitios de interés ya descritos anteriormente (puntos) y se tomaron algunas fotografías que pudieran describir la problemática que se presenta en el tramo en estudio, tales como: señalamiento horizontal y vertical, estado de superficie de rodamiento, sistemas de contención, taludes de corte y terraplén, curvas, evidencias de accidentes, maniobras de vehículos y en algunos casos la infraestructura existente del derecho de vía, así como de los sitios elegidos previamente en el recorrido general para la toma de velocidades.

La Figura 4.2.2 presenta la vista georreferenciada de la Carretera Federal Libre México-Toluca cuerpo “A”, señalando los puntos de interés registrados durante el proceso de georreferenciación, en la tabla de atributos están registrados los puntos de interés arriba mencionados.

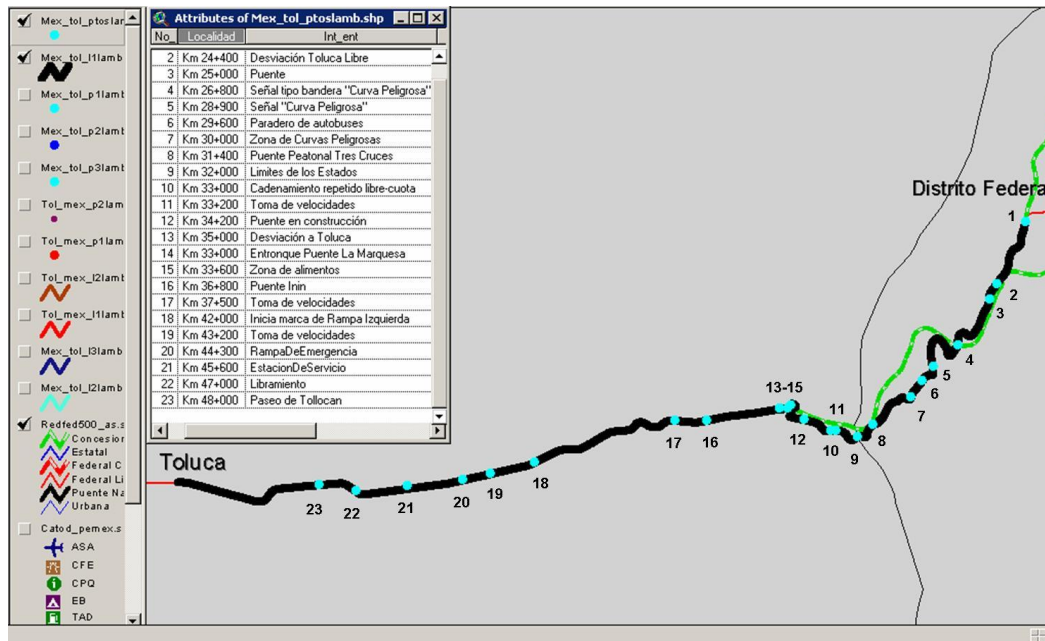


Figura 4.2.2 Vista georreferenciada de la carretera federal libre México – Toluca, cuerpo A

En las Fotografías 4.2.5 a la 4.2.12 se observan algunos aspectos principales del recorrido, que tienen que ver con las condiciones de diseño geométrico de la carretera, tales como señalamiento horizontal y vertical, zona de curvas y derecho de vía.

En las Fotografías 4.2.13 y 4.2.14 se observa como el dispositivo de contención (barrera central) no tiene continuidad en sus módulos, representando esto un riesgo para la seguridad de los conductores, asimismo permite a los vehículos cambiar de un sentido a otro, con graves problemas en la seguridad, esta maniobra es común tanto para los vehículos ligeros como para los de pasajeros. Por último, en la Fotografía 4.2.11 se puede observar como existe evidencia de accidentes sobre la carretera.



Fotografías 4.2.5 y 4.2.6 Señalamiento vertical: señales informativas de identificación (SII-14 y SII-15)



Fotografías 4.2.7 y 4.2.8 Señalamiento horizontal: vialetas y raya de rampa de frenado



Fotografías 4.2.9 y 4.2.10 Zona de curvas peligrosas



**Fotografías 4.2.11 y 4.2.12 Evidencia de accidentes y zona de alimentos
(Paradero La Marquesa)**



Fotografías 4.2.13 y 4.2.14 Barrera central en el km 30+000

Paralelamente a las actividades descritas en este punto, se llevó a cabo la toma de velocidades en los sitios previamente establecidos durante el recorrido general. Los sitios fueron ubicados en los kilómetros 33+200, 37+500, 43+200 y 45+500, Fotografías 4.2.15 a 4.2.21. En cada uno de ellos, se tomaron 120 registros de velocidad a flujo libre que incluyó a todos los tipos de vehículos. Cabe señalar nuevamente que algunos de los criterios más importantes que hicieron que se seleccionarán esos cuatro sitios fueron: 1) las condiciones geométricas de la carretera (pendientes y velocidad de operación) y 2) los altos índices de accidentalidad reportados en las bases de datos del Anuario Estadístico 2009. Por último, la información obtenida por los instrumentos de medición de velocidades (pistola láser y de radar) se registraron en los formatos previamente elaborados.



Fotografías 4.2.15 y 4.2.16 Toma de velocidades: sitio 1 ubicado en el Km 33+200



Fotografías 4.2.17 y 4.2.18 Toma de velocidades: sitio 2 ubicado en el Km 37+500



Fotografías 4.2.19 y 4.2.20 Toma de velocidades: sitio 3 ubicado en el Km 43+200

4.3 Generación de diagnóstico

A partir del análisis de la información en las bases de datos de accidentes de la PF, así como de la información de las características físicas y de operación del tramo, se elaboró el diagnóstico de la Carretera Federal Libre México-Toluca. A continuación se presentan los resultados del diagnóstico para todo el tramo, considerando las tres secciones que registraron una mayor ocurrencia de percances, lo cual ya se analizó con más detalle en el capítulo 4.1.

La Figura 4.3.1 muestra el tramo georreferenciado de la totalidad del tramo, cuerpo “A” y cuerpo “B”, así como también se señalan las tres secciones ya mencionadas.

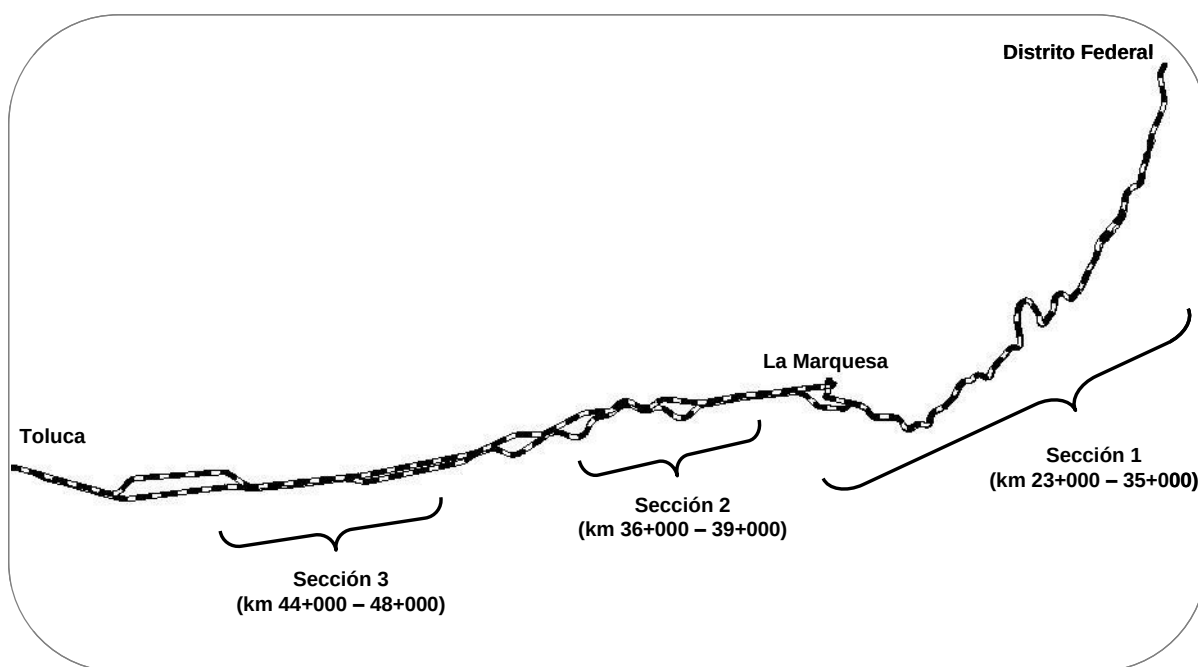


Figura 4.3.1 Ambos sentidos de la Carretera Federal Libre México-Toluca y secciones

Sección 1) Del km 23+000 al km 35+000

La Figura 4.3.2 muestra el tramo georreferenciado de la sección 1 de ambos sentidos de la Carretera Federal Libre México-Toluca. Desde el inicio del tramo, km 23+000, y hasta un poco antes de llegar al km 34+000, ambos cuerpos “A” y “B”, son paralelos y prácticamente colindantes entre sí. A partir del km 33+800 y hasta el 35+000 aproximadamente, es evidente una mayor separación entre ambos sentidos de circulación.

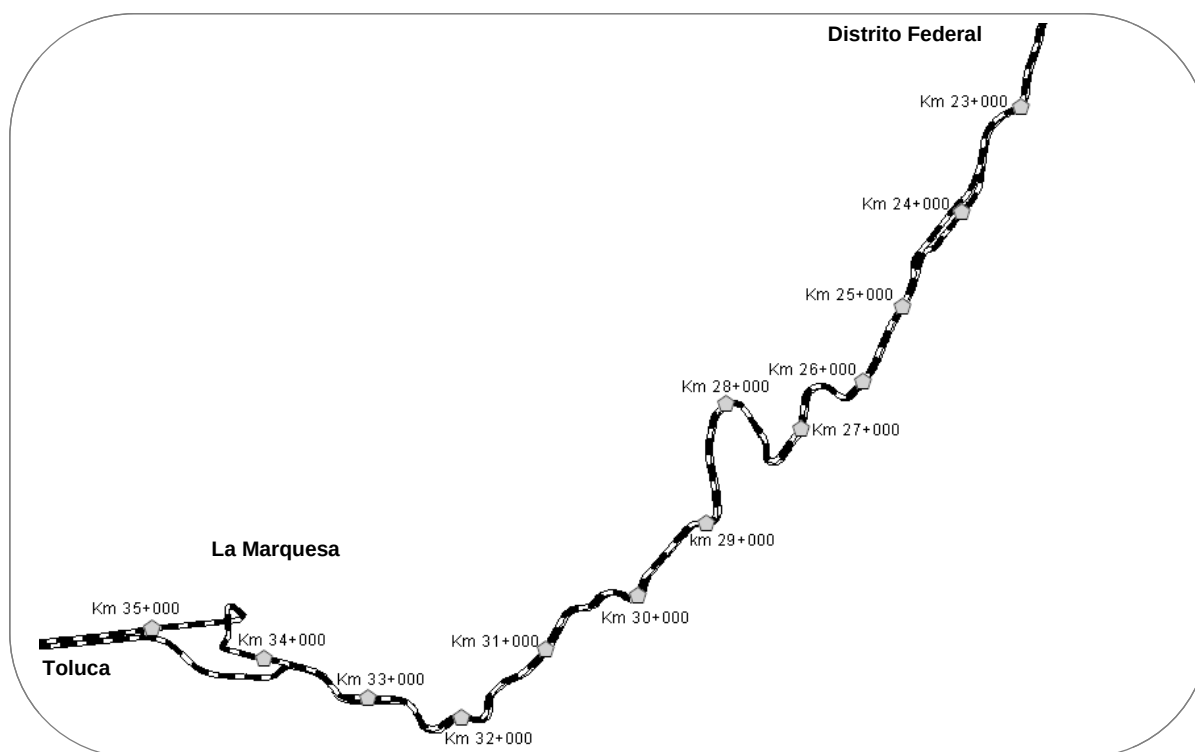


Figura 4.3.2 Sección 1 con ambos sentidos de circulación

Con relación al análisis de accidentes en 2009 se observó lo siguiente:

- El principal tipo de accidente es “choque vs vehículo motor en tránsito”, seguido de “salida del camino”.
- En lo que corresponde a las causas que ocasionan los accidentes, sobresalen con una mayor cantidad los accidentes con causas atribuibles al conductor (61,4 %), seguido de las causas atribuibles a los agentes

naturales con un 25,3%, finalmente las causas atribuibles al camino y al vehículo con 10,8% y 2,4% respectivamente.

- Los accidentes se presentan con una distribución uniforme a lo largo de casi todos los días de la semana.
- En lo que corresponde sólo a causas atribuibles al conductor, se tiene que la “velocidad excesiva” representa la principal causa por la cual el conductor origina el percance.
- En lo que corresponde a accidentes atribuibles al camino, las principales causas que originan los accidentes son: pavimento mojado y resbaloso, y en el 78,5% de dichos accidentes estuvo presente la “lluvia” al momento del percance.

Respecto a las características físicas y operativas de la sección se observó lo siguiente:

- La sección se ubica dentro de una zona de curvas con pendiente ascendente al inicio y posteriormente descendente en el cuerpo “A”. La situación inversa se presenta para el cuerpo “B”.
- Los dispositivos de contención no son totalmente continuos en tramos donde ambos sentidos de circulación son contiguos.
- Los sitios con curvas y pendientes pronunciadas requieren una mayor presencia de señalamiento horizontal y vertical antes y a lo largo del tramo: señales previas tanto preventivas como informativas en ambos lados de la carretera, así como indicadores de curva peligrosa colocados en las curvas.
- No se observó señalamiento de restricción de velocidad relevante en los sitios que anteceden una curva.
- La velocidad del percentil 85 en el km 33+200 cuerpo “A” fue de 93 km/h. La Figura 4.3.4 muestra la gráfica del estudio de velocidad de punto en el sitio.
- La velocidad mínima registrada en el km 33+200 cuerpo “A” fue de un vehículo tipo “C2” que circulaba a 48 km/h y la velocidad máxima registrada

corresponde a un automóvil que circulaba a 112 km/h, por lo que se presenta una diferencia importante de velocidad entre los dos tipos de vehículos de 64 km/h.

- Las condiciones geométricas en este tramo impiden mantener la velocidad inicial, por lo que el conductor realiza cambios constantes de velocidad debido a la presencia de curvas con pendiente ascendente o descendente.

La Figura 4.3.3 muestra una vista general del sitio exacto donde se tomaron velocidades. La Fotografía 4.3.1 muestra una vista en el km 33+200, se aprecia una pendiente descendente antes del inicio de una curva.

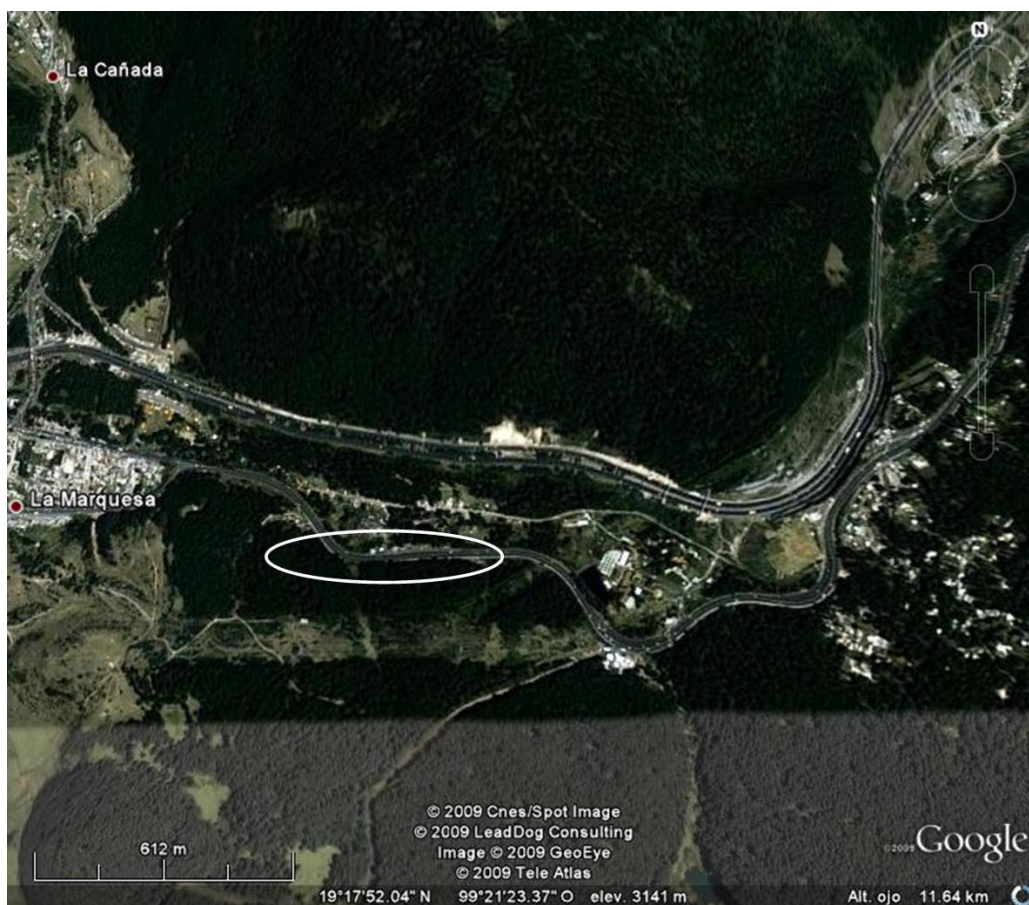


Figura 4.3.3 Vista del sitio de lectura de velocidades (km 33+200)



Fotografía 4.3.1 km 33+200 cuerpo "A"

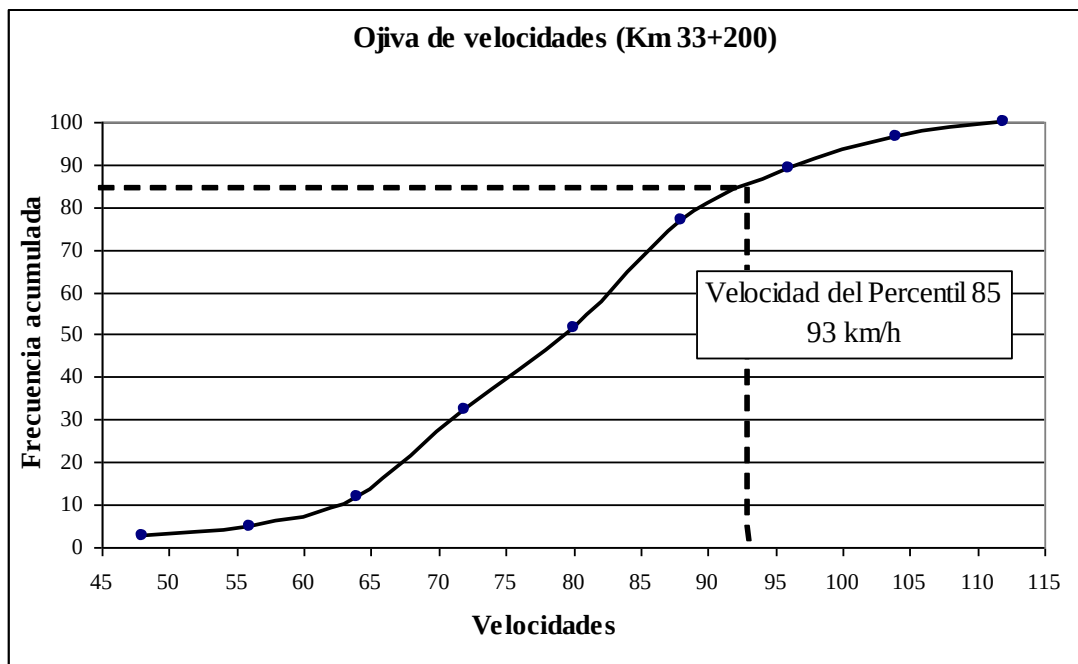


Figura 4.3.4 Velocidad del percentil 85 en el km 33+200

Sección 2) Del km 36+000 al km 39+000

La Figura 4.3.5 muestra el tramo georreferenciado de la sección 2 de ambos sentidos de la Carretera Federal Libre México-Toluca. En la mayor parte del tramo se aprecia un aumento en la distancia que separa ambos sentidos, misma que presenta en algunos tramos hasta los 350 metros de separación.

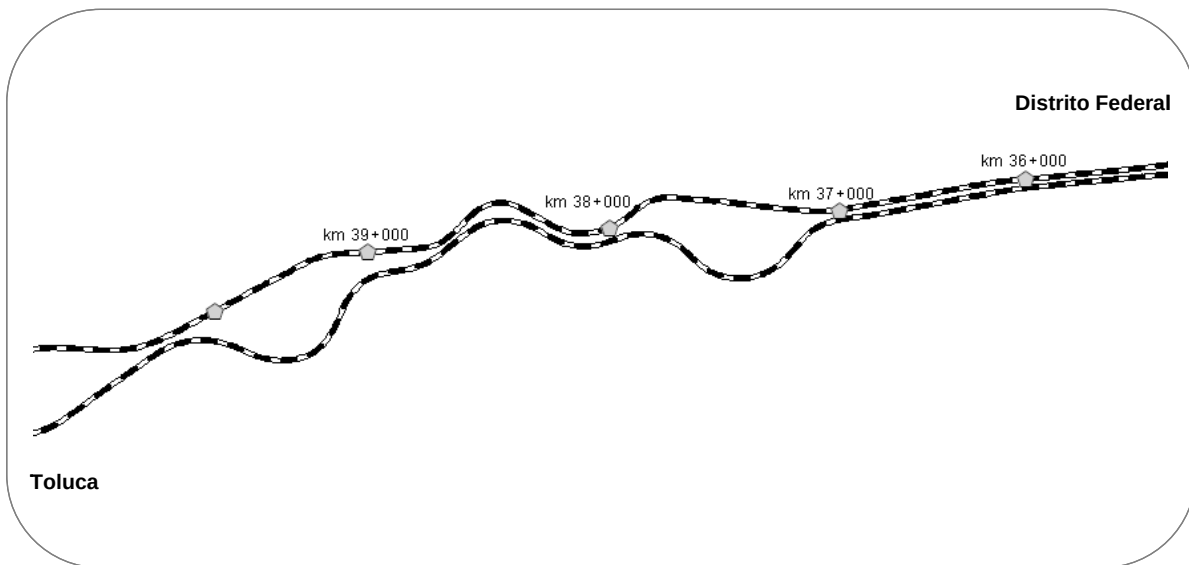


Figura 4.3.5 Sección 2 con ambos sentidos de circulación

Con relación al análisis de accidentes en 2009 se observó lo siguiente:

- El principal tipo de accidente es “salida del camino”, seguido de “choque por alcance”.
- En lo que corresponde a las causas que inciden en los accidentes, del km 36+000 al 39+000 cuerpo “A” y “B” sobresalen también con una mayor cantidad los accidentes con causas atribuibles al conductor (85% y 40% respectivamente). En el cuerpo “B” también con 40% los accidentes con causas atribuibles al vehículo.
- Con respecto a las causas atribuibles al conductor, se tiene que en el

cuerpo “A” la “velocidad excesiva” representó también la principal causa por la cual el conductor originó el percance. Lo mismo se presentó en el cuerpo “B”.

Respecto a las características físicas y operativas de la sección se observó lo siguiente:

- La sección en el cuerpo “A” se ubica dentro de una zona de curvas con pendiente descendente. La situación inversa se presenta para el cuerpo “B”.
- Al igual que en la sección 1, los sitios con curvas y pendientes pronunciadas requieren una mayor presencia de señalamiento horizontal y vertical antes y a lo largo del tramo: señales previas tanto preventivas como informativas en ambos lados de la carretera.
- No se observó señalamiento de restricción de velocidad notable en aquellos sitios que anteceden una curva.
- La velocidad del percentil 85 en el km 37+500 cuerpo “A” fue de 114 km/h. La Figura 4.3.7 muestra la gráfica del estudio de velocidad de punto en el sitio.
- La velocidad mínima registrada en el km 37+500 cuerpo “A” fue de un vehículo tipo “T3S2R4” que circulaba a 40 km/h y la velocidad máxima registrada corresponde a un automóvil que circulaba a 137 km/h, por lo que se presenta una notable diferencia de velocidad entre los dos tipos de vehículos de 97 km/h.
- Al igual que en la sección 1, las condiciones geométricas en este tramo impiden mantener una velocidad uniforme, por lo que el conductor realiza cambios constantes de velocidad debido a la presencia de curvas con pendiente descendente.

La Figura 4.3.6 muestra una vista general del sitio exacto donde se tomaron velocidades. La Fotografía 4.3.2 muestra una vista de dicho sitio, se aprecia un trayecto recto, el cual presenta una pendiente descendente, justo antes de iniciar una curva, lo anterior con destino a Toluca.



Figura 4.3.6 Vista del sitio de lectura de velocidades (km 37+500)

Antes de llegar al sitio no existen señalamientos preventivos, informativos o de restricción de velocidad, así como tampoco alumbrado público, lo que coadyuva en la ocurrencia de percances, dadas las condiciones de visibilidad del sitio.



Fotografía 4.3.2 km 37+500 cuerpo “A”

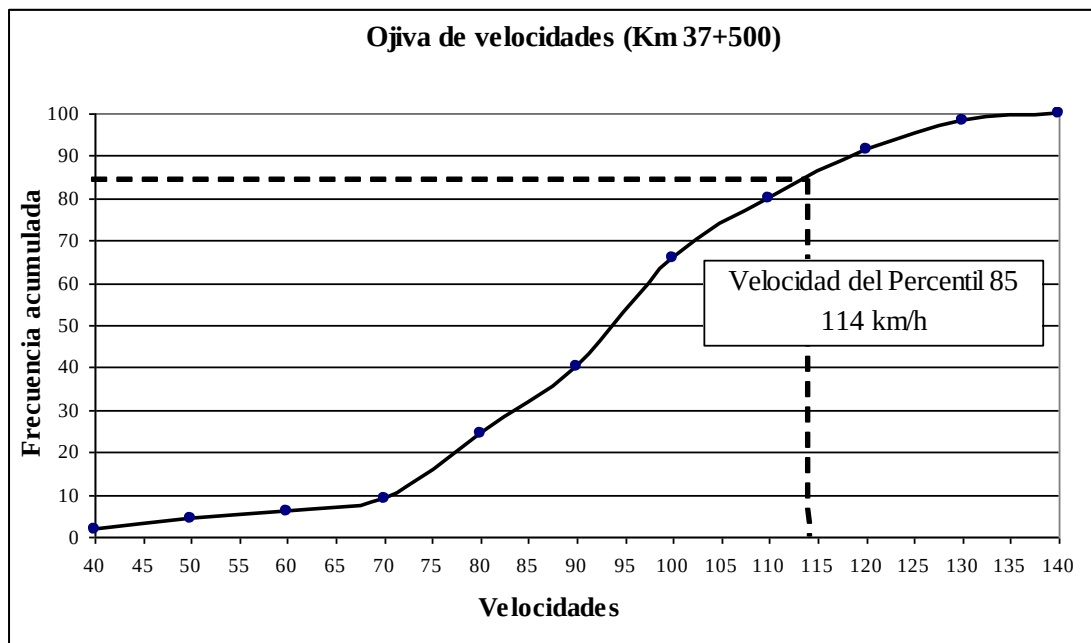


Figura 4.3.7 Velocidad del percentil 85 en el km 37+500

Sección 3) Del km 44+000 al km 48+000

La Figura 4.3.8 muestra el tramo georreferenciado de la sección 3 de ambos sentidos de la Carretera Federal Libre México-Toluca. Al igual que la sección 2, es visible una distancia que separa a ambos sentidos, la cual alcanza hasta una distancia de alrededor de 390 metros en algunos tramos.

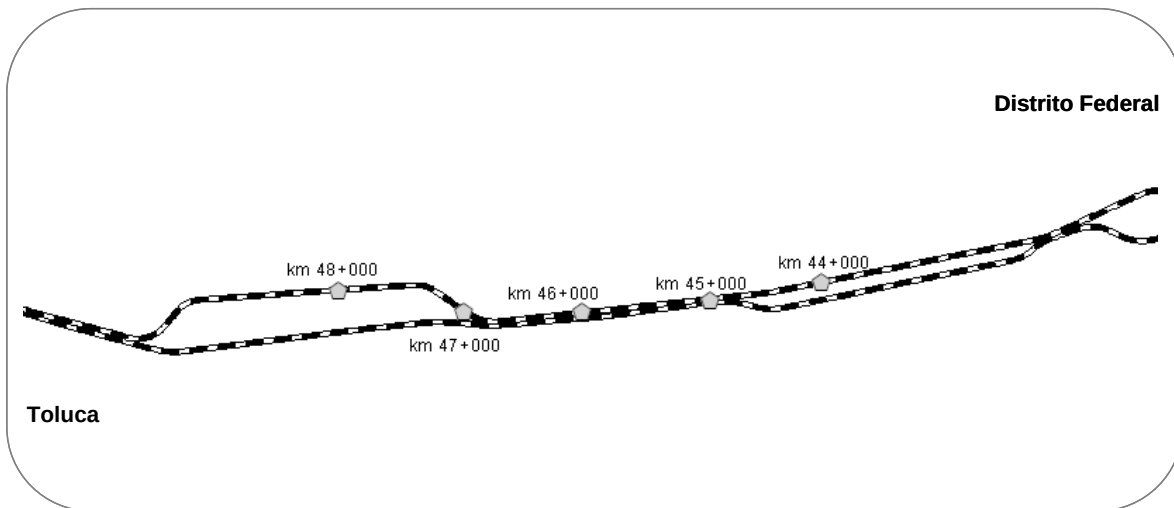


Figura 4.3.8 Sección 3 con ambos sentidos de circulación

Con relación al análisis de accidentes en 2009 se observó lo siguiente:

- El principal tipo de accidente es “salida del camino”, seguido de “choque vs vehículo motor en tránsito”.
- En lo que corresponde a las causas que ocasionan los accidentes, tanto en el cuerpo “A” como en el “B” sobresalen con una mayor cantidad (78,6% y 90% respectivamente) los accidentes con causas atribuibles al conductor.
- Al igual que en las dos secciones anteriores, en lo que corresponde a causas atribuibles al conductor, se tiene que en el cuerpo “A” la “velocidad excesiva” representa la principal causa por la cual el conductor origina el percance. Lo mismo se presenta en el cuerpo “B”.

Respecto a las características físicas y operativas de la sección se observó lo siguiente:

- La sección se ubica dentro de una zona de trayectos en su mayoría rectos y con pendiente descendente en el cuerpo “A”. La situación inversa se presenta para el cuerpo “B”.
- No se observó señalamiento de restricción de velocidad destacable en el sitio que antecede una curva, esto es aproximadamente en el km 46+000.
- La lectura de velocidades se realizó en el km 43+200 cuerpo “A” y 45+500 cuerpo “B”. La velocidad del percentil 85 en el km 43+200 cuerpo “A” fue de 105 km/h. La Figura 4.3.9 muestra la gráfica del estudio de velocidad de punto en el sitio.
- La velocidad mínima registrada en el km 43+200 cuerpo “A” fue de un vehículo tipo “C2” que circulaba a 37 km/h y la velocidad máxima registrada corresponde a un automóvil que circulaba a 154 km/h, por lo que se presenta una diferencia significativa de velocidad entre los dos tipos de vehículos de 117 km/h.
- La velocidad del percentil 85 en el km 45+500 cuerpo “B” fue de 98 km/h. La Figura 4.3.10 muestra la gráfica del estudio de velocidad de punto en el sitio.
- La velocidad mínima registrada en el km 45+500 cuerpo “B” fue de un vehículo tipo “T3S2” que circulaba a 43 km/h y la velocidad máxima registrada corresponde a un automóvil que circulaba a 127 km/h, por lo que se presenta una diferencia de velocidad entre los dos tipos de vehículos de 84 km/h.

La Figura 4.3.11 muestra una vista general de los dos sitios donde se tomaron velocidades. Las Fotografías 4.3.3 y 4.3.4 muestran una vista de los sitios en el km 43+200 y 45+500, se aprecia en ambos cuerpos un trayecto recto, el cual presenta una pendiente descendente en el km 43+200 cuerpo “A” y viceversa en el km 45+500 cuerpo “B”.

Las Figuras 4.3.12 y 4.3.13 muestran con mayor detalle el sitio donde se tomaron velocidades.

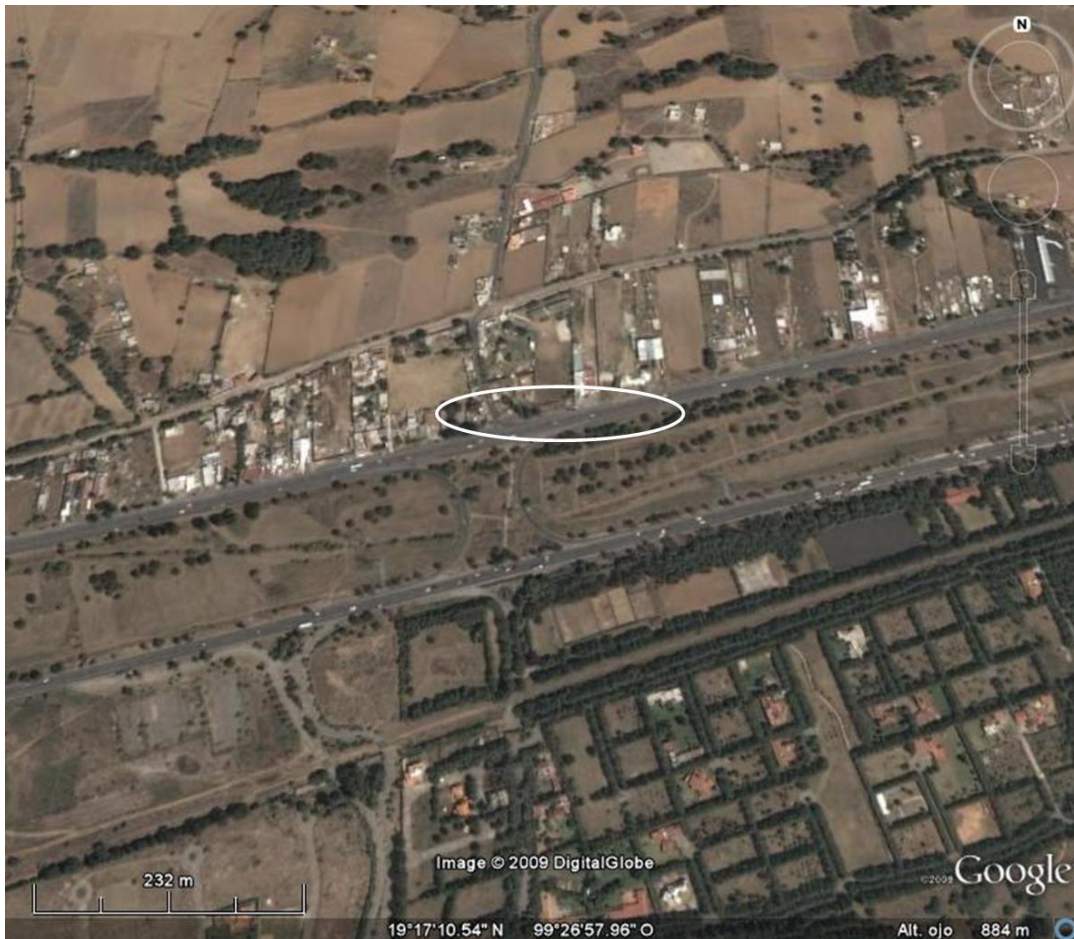


Figura 4.3.12 Vista del sitio de lectura de velocidades (km 43+200 cuerpo “A”)



Fotografía 4.3.3 Km 43+100 cuerpo “A”



Figura 4.3.13 Vista del sitio de lectura de velocidades (km 45+500 cuerpo “B”)



Fotografía 4.3.4 Km 45+000 cuerpo “B”

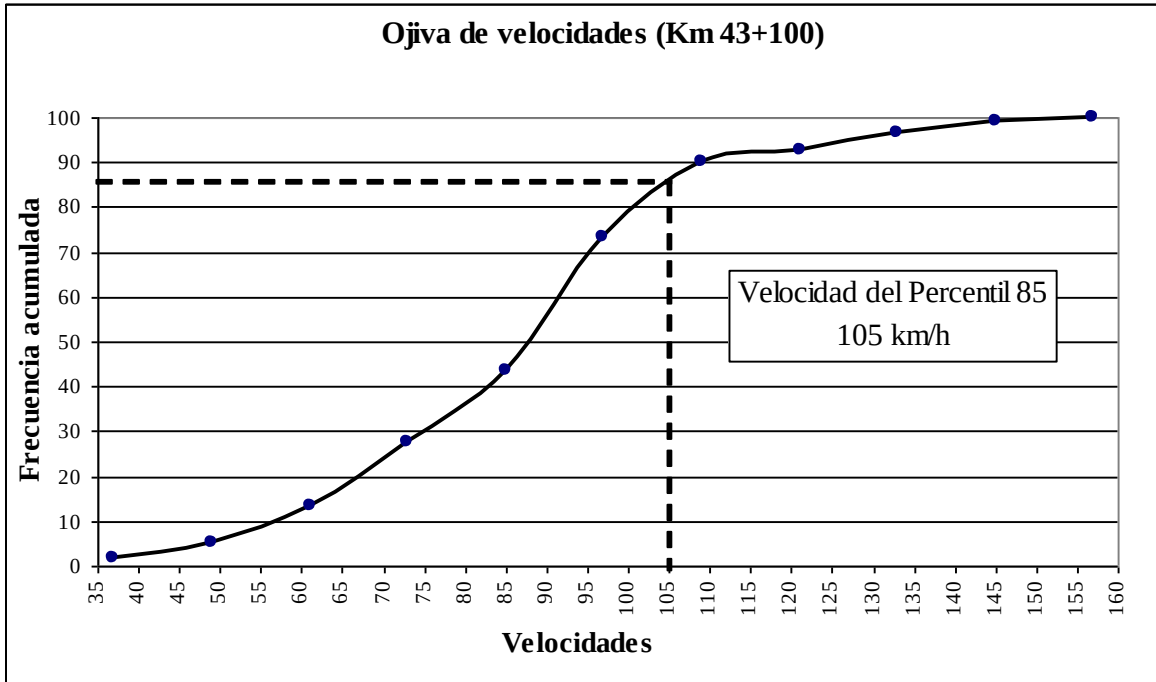


Figura 4.3.9 Velocidad del percentil 85 en el km 43+100

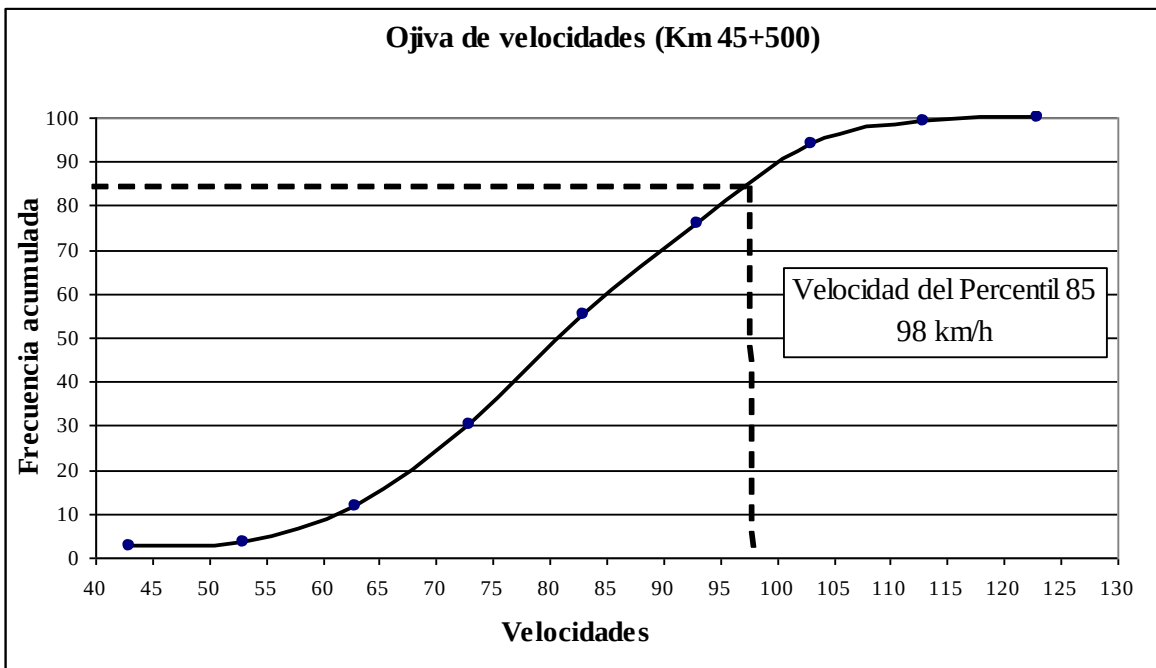


Figura 4.3.10 Velocidad del percentil 85 en el km 45+500

CAPÍTULO 5. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO

*“Lo importante no es la tecnología que tiene la empresa,
sino lo que logra con ella.*

5.1 Elección de tecnologías ITS

Con el fin de identificar aquellas tecnologías ITS que pudiesen ser la más adecuadas para la atención de la problemática identificada, y a partir de que en el capítulo 4 se determinó que los factores más importantes que contribuyen a que se presente un alto índice de accidentalidad en la carretera federal libre México – Toluca son: velocidades excesivas por parte de los conductores, así como factores ambientales inherentes al sitio, tales como la lluvia y la neblina frecuentes, lo que provoca una combinación muy peligrosa que deriva en un alto grado de choques por alcance.

Es por ello que en este capítulo se pretende dar algunas alternativas para el control y disminución de dichos accidentes, basándose en la aplicación de ITS, identificadas en el documento de la Arquitectura ITS México [Referencia 1], así como en investigaciones y entrevistas con diferentes actores involucrados en esta temática y proveedores de sistemas y elementos de apoyo para la operación y gestión de las carreteras en nuestro país.

A continuación se detallaran algunos sistemas y servicios propuestos para disminuir y monitorear dichos factores:

SE.1 Notificación de emergencias relacionadas con el transporte y seguridad

SE-101 Teléfono de emergencia y despacho automático de emergencias

Alerta personal automatizada

Llamada automática de emergencia. A diferencia de la aplicación en los vehículos del sector público, este es un servicio basado en una tarifa para el sector privado, utilizando sistemas existentes/disponibles actuales. No se identifica ningún costo con este servicio al sector público.

Alerta personal manual

Llamada de emergencia activada por el usuario. A diferencia de la aplicación en vehículos del sector público, este es un servicio basado en una tarifa para el sector privado, utilizando sistemas existentes/disponibles actuales. No se identifica ningún costo con este servicio para el sector público.

Complejidad de desarrollo	Baja
Complejidad de integración	Baja
Demostración (Pesos)	\$0
Implantación inicial (Pesos)	\$0
Adquisición potencial	Vendedor del sistema
Gestión de tránsito	
Información y Comunicaciones al viajero	
Detección y monitoreo de tránsito	
Sistemas de cobro y tarifas	
Transporte Público	
Sistemas de vehículos de carga	
Seguridad	Producto disponible al consumidor – teléfono celular y GPS con centro de control privado

GOT.1 Control de tránsito

GOT-101 Monitoreo de tránsito

Monitoreo vial

Implantación de sensores para el monitoreo de tránsito. Consiste en implantar sensores en todas las vialidades de acceso controlado en una zona metropolitana. Incluye las comunicaciones, pero supone software limitado o suministrado por un vendedor para monitorear los sensores. La demostración se haría en una sola vialidad con una implantación inicial que cubriría a toda una zona metropolitana.

Complejidad de desarrollo	Baja
Complejidad de integración	Media
Demostración (Pesos)	\$67,296,000
Implantación inicial (Pesos)	\$1,259,904,000
Adquisición potencial	Diseñador / Gerente del sistema
	Vendedor / Desarrollador del sistema
Gestión de tránsito	
Información y Comunicaciones al viajero	Espina dorsal para fibra óptica o microondas
Detección y monitoreo de tránsito	Microondas, video detección, microloops u controladores asociados
Sistemas de cobro y tarifas	
Transporte Público	
Sistemas de vehículos de carga	
Seguridad	

GOT-103 Control de autopistas/vialidades urbanas

Control de carriles en autopistas.

Este proyecto es para los carriles en autopistas en las cercanías de generadores de eventos especiales o puntos donde ocurren incidentes frecuentemente donde la gestión activa de los carriles puede aumentar la seguridad y disminuir el congestionamiento. Incluye nuevo equipamiento y comunicaciones, pero supone software limitado o suministrado por un vendedor para monitorear el sistema.

Complejidad de desarrollo	Media
Complejidad de integración	Media
Demostración (Pesos)	\$19,694,400
Implantación inicial (Pesos)	\$19,694,400
Adquisición potencial	Diseñador / Gerente del sistema Vendedor / Integrador
Gestión de tránsito	Semáforos y controladores para el control de carriles
Información y Comunicaciones al viajero	Fibra óptica o microondas
Detección y monitoreo de tránsito	CCTV Digital IP (Otros de proyectos previos)
Sistemas de cobro y tarifas	
Transporte Público	
Sistemas de vehículos de carga	
Seguridad	

Límites de velocidad dinámicos

Este proyecto comprende el uso de señales variables de velocidad para cambiar las velocidades permitidas en las vialidades antes de llegar al lugar del incidente o congestión. Incluye un nuevo equipamiento y comunicaciones, pero supone software limitado o suministrado por un vendedor para monitorear el sistema. También supone la existencia de suficientes sistemas de monitoreo de tránsito implantados para proporcionar a los operadores la información necesaria para que tomen decisiones bien fundamentadas.

Complejidad de desarrollo	Media
Complejidad de integración	Alta
Demostración (Pesos)	\$22,094,400
Implantación inicial (Pesos)	\$22,094,400
Adquisición potencial	Diseñador / Gerente del sistema
	Desarrollador / Integrador del sistema
Gestión de tránsito	Señales dinámicas de velocidad y controladores
Información y Comunicaciones al viajero	Fibra óptica o microondas dedicados
Detección y monitoreo de tránsito	(Otros de proyectos previos)
Sistemas de cobro y tarifas	
Transporte Público	
Sistemas de vehículos de carga	Registro de vehículos
Seguridad	Intercambio de datos entre múltiples dependencias

GOT-106 Difusión de información de tránsito

Implantación de señales de mensajes dinámicos (DMS)

Implantación y uso de DMS para información sobre incidentes y congestionamientos. Proporciona las señales de mensajes variables. Incluye nuevo equipamiento y comunicaciones, pero supone software suministrado por un vendedor para monitorear el sistema. Supone que se encuentra implantado el monitoreo de tránsito utilizando sensores o cámaras. La demostración es una única aplicación mientras que la implantación inicial se hará para solo un área urbana.

Complejidad de desarrollo	Baja
Complejidad de integración	Media
Demostración (Pesos)	\$2,515,200
Implantación inicial (Pesos)	\$2,515,200
Adquisición potencial	Diseñador / Integrador del sistema Vendedor
Gestión de tránsito	DMS, elevadas a un lado
Información y Comunicaciones al viajero	DMS
Detección y monitoreo de tránsito	Otros sistemas existentes
Sistemas de cobro y tarifas	
Transporte Público	
Sistemas de vehículos de carga	
Seguridad	

Implantación de radio con información vial (HAR)

Implantación y uso de HAR para información sobre incidentes y congestionamientos. Proporciona la radio con información vial (HAR). Incluye nuevo equipamiento y comunicaciones, pero supone software suministrado por un vendedor para monitorear el sistema. Asume que se encuentra en operación el monitoreo de tránsito utilizando sensores o cámaras. La demostración es una única aplicación mientras que la implantación inicial se hará para solo un área urbana.

Complejidad de desarrollo	Baja
Complejidad de integración	Media
Demostración (Pesos)	\$415,200
Implantación inicial (Pesos)	\$415,200
Adquisición potencial	Diseñador / Integrador del sistema Vendedor
Gestión de tránsito	HAR
Información y Comunicaciones al viajero	HAR
Detección y monitoreo de tránsito	Otros sistemas existentes
Sistemas de cobro y tarifas	
Transporte Público	
Sistemas de vehículos de carga	
Seguridad	

GOT.4 Gestión de eventos e incidentes relacionados con el transporte

GOT-401 Asistencia a conductores en el sitio del incidente

Ángeles Verdes urbanos

Ampliar el programa Ángeles Verdes a las vialidades urbanas de acceso controlado. La demostración se haría en una zona de una región urbana mientras que la implantación inicial representa la implantación total del equipamiento en una sola zona urbana.

Complejidad de desarrollo	Baja
Complejidad de integración	Baja
Demostración (Pesos)	\$21,000,000
Implantación inicial (Pesos)	\$379,065,600
Adquisición potencial	Diseñador / Gerente del sistema Vendedor
Gestión de tránsito	DMS Portátil Sistema de gestión de flotas
Información y Comunicaciones al viajero	Coordinación entre múltiples dependencias
Detección y monitoreo de tránsito	Proporciona insumos a otros sistemas
Sistemas de cobro y tarifas	
Transporte Público	
Sistemas de vehículos de carga	
Seguridad	Vehículos de gestión de incidentes Capacitación al conductor, guía de políticas

Capacitación para asistencia a conductores

Desarrollar un programa para proporcionar mayor capacitación en la asistencia a conductores a los responsables de la respuesta a emergencias. Deberá concentrarse en los conductores pero incluirá a todas las dependencias responsables de la atención a emergencias. La demostración sería una sola clase mientras que la implantación inicial representa el programa de capacitación completo en todos los estados y regiones.

Complejidad de desarrollo	Baja
Complejidad de integración	Baja
Demostración (Pesos)	\$84,000
Implantación inicial (Pesos)	\$2,604,000
Adquisición potencial	Vendedor
	Desarrollador / Vendedor
Gestión de tránsito	Clases de capacitación
Información y Comunicaciones al viajero	
Detección y monitoreo de tránsito	
Sistemas de cobro y tarifas	
Transporte Público	
Sistemas de vehículos de carga	
Seguridad	

GOT-402 Gestión de tránsito en el sitio del incidente

DMS portátiles (PDMS) para gestión de incidentes

DMS portátiles para manejar el tránsito en el lugar del incidente. Adquisición de un DMS portátil (probablemente montado en un camión) para difusión y para incidentes mayores. Proporcionar capacitación en dónde y cómo utilizar los DMS. La demostración es una sola unidad. La implantación inicial depende del éxito relativo de la unidad inicial.

Complejidad de desarrollo	Baja
Complejidad de integración	Baja
Demostración (Pesos)	\$300,000
Implantación inicial (Pesos)	\$300,000
Adquisición potencial	Vendedor
Gestión de tránsito	DMS Portátiles
Información y Comunicaciones al viajero	DMS Portátiles
Detección y monitoreo de tránsito	
Sistemas de cobro y tarifas	
Transporte Público	
Sistemas de vehículos de carga	
Seguridad	

Capacitación en gestión de incidentes

Desarrollar un programa para proporcionar mayor capacitación a los responsables de respuesta a emergencias en Gestión de incidentes. Debería incluir todas las fases de la gestión de incidentes y a todas las dependencias responsables. La demostración sería una sola unidad, mientras que la implantación inicial representa el programa de capacitación completo en todos los estados y regiones.

Complejidad de desarrollo	Baja
Complejidad de integración	Baja
Demostración (Pesos)	\$84,000
Implantación inicial (Pesos)	\$2,604,000
Adquisición potencial	Vendedor, Desarrollador
Gestión de tránsito	Clases de capacitación
Información y Comunicaciones al viajero	
Detección y monitoreo de tránsito	
Sistemas de cobro y tarifas	
Transporte Público	
Sistemas de vehículos de carga	
Seguridad	Clases de capacitación

MA.1 Monitoreo climatológico

MA-101 Monitoreo de la información sobre las condiciones climatológica en la red vial

Difusión de la estación climatológica

Estaciones de monitoreo meteorológico y vial Son sistemas disponibles comercialmente. Las dependencias de vialidad deben monitorear condiciones como inundaciones, vientos altos y niebla. La demostración es una estación única; la implantación inicial se hará sólo para una región. Se supone que se utiliza el software suministrado por un vendedor.

Complejidad de desarrollo	Baja
Complejidad de integración	Baja
Demostración (Pesos)	\$480,000
Implantación inicial (Pesos)	\$480,000
Adquisición potencial	Vendedor / Integrador del sistema
Gestión de tránsito	
Información y Comunicaciones al viajero	
Detección y monitoreo de tránsito	Estación climatológica comercial
Sistemas de cobro y tarifas	
Transporte Público	
Sistemas de vehículos de carga	
Seguridad	

Sistema de aviso de existencia de niebla

Sistema de advertencia meteorológica y vial. Son sistemas disponibles comercialmente. Involucra el uso de información obtenida de las estaciones para avisar a los conductores por medio de DMS o HAR. Por ejemplo, aviso de existencia de niebla al ingresar a un área montañosa o una inundación al aproximarse a un valle. Este proyecto supone que no existe ningún monitoreo, por lo que incluye tanto el equipamiento para el monitoreo como el equipamiento para proveer información a viajeros como una sola unidad. La demostración es un sistema único. Debido a que este sistema es específico para un sitio, la demostración es la implantación inicial.

Complejidad de desarrollo	Baja
Complejidad de integración	Baja
Demostración (Pesos)	\$1,080,000
Implantación inicial (Pesos)	\$1,080,000
Adquisición potencial	Vendedor / Integrador del sistema
Gestión de tránsito	
Información y Comunicaciones al viajero	DMS, HAR
Detección y monitoreo de tránsito	Sensores de niebla
Sistemas de cobro y tarifas	
Transporte Público	
Sistemas de vehículos de carga	
Seguridad	

Descripción de las Tecnologías ITS implementadas en la propuesta de solución

Señales de Mensaje Variable

Objetivo: Proporcionar al conductor información en tiempo real de las condiciones geométricas de la carretera, tanto en leyendas fijas como variables y semivARIABLES.

Función: Proveer señales preventivas (SP) de curvas peligrosas tipo puente elaboradas con mensajes programables. La tecnología usada puede ser de:

- Diodo Emisor de Luz (LED, por sus siglas en inglés).
- Persianas de Fibra Óptica
- Disco Reflector
- LED de Fibra Óptica mejorado por Disco Reflector
- Pantalla de Cristal Líquido (LCD)



Señales de Mensaje Variable

Objetivo: Proporcionar al conductor información en tiempo real de las condiciones atmosféricas y de tránsito de la carretera, tanto en leyendas fijas como variables y semivARIABLES.

Función: Proveer señales restrictivas (SR) de velocidad tipo puente con un tablero de límite de velocidad variable. La tecnología usada pueden ser de:

- Diodo Emisor de Luz (LED por sus siglas en inglés).
- Persianas de Fibra Óptica
- Disco Reflector
- LED de Fibra Óptica mejorado por Disco Reflector
- Pantalla de Cristal Líquido (LCD)

Límites de Velocidad Dinámicos

Objetivo: Proporcionar al conductor información en tiempo real de su velocidad de operación por medio de señales de mensaje variable.

Función: Advertir al conductor por medio de una señal tipo puente con un tablero de límite de velocidad variable si ha excedido el límite permitido, utilizando un radar para cada uno de los carriles. La tecnología recomendada es un tablero con radar de velocidad y alarma visual de exceso de velocidad.



Límites de Velocidad (DMS)

Objetivo: Proporcionar al conductor información en tiempo real del límite de velocidad prevaleciente en la próxima curva por medio de señales de mensaje variable.

Función: Advertir al conductor por medio de una señal tipo bandera del límite de velocidad permitido en la próxima curva, de acuerdo a las condiciones prevalecientes en ese momento. La tecnología recomendada es un tablero de LED's con radar de velocidad y alarma visual de exceso de velocidad.



Chevrone con LED's

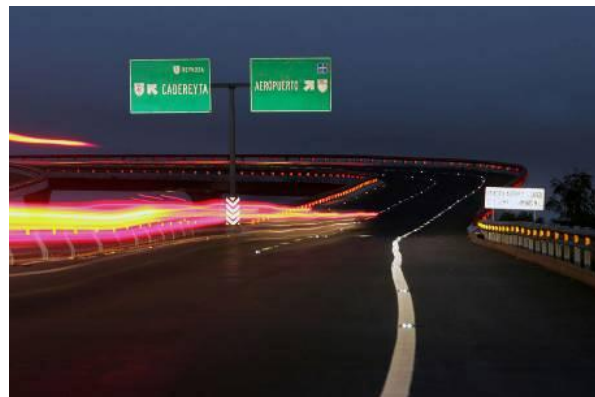
Objetivo: Proporcionar al conductor información acerca de la geometría de una curva por medio de señales de LED.

Función: Guiar al conductor durante la transición de la curva por medio de chevrone. La tecnología recomendada es un tablero de LED's tipo OD-12 alimentado mediante celdas solares.

Vialetas con LED's

Objetivo: Proporcionar al conductor información acerca de zonas de alto peligro, así como de guía.

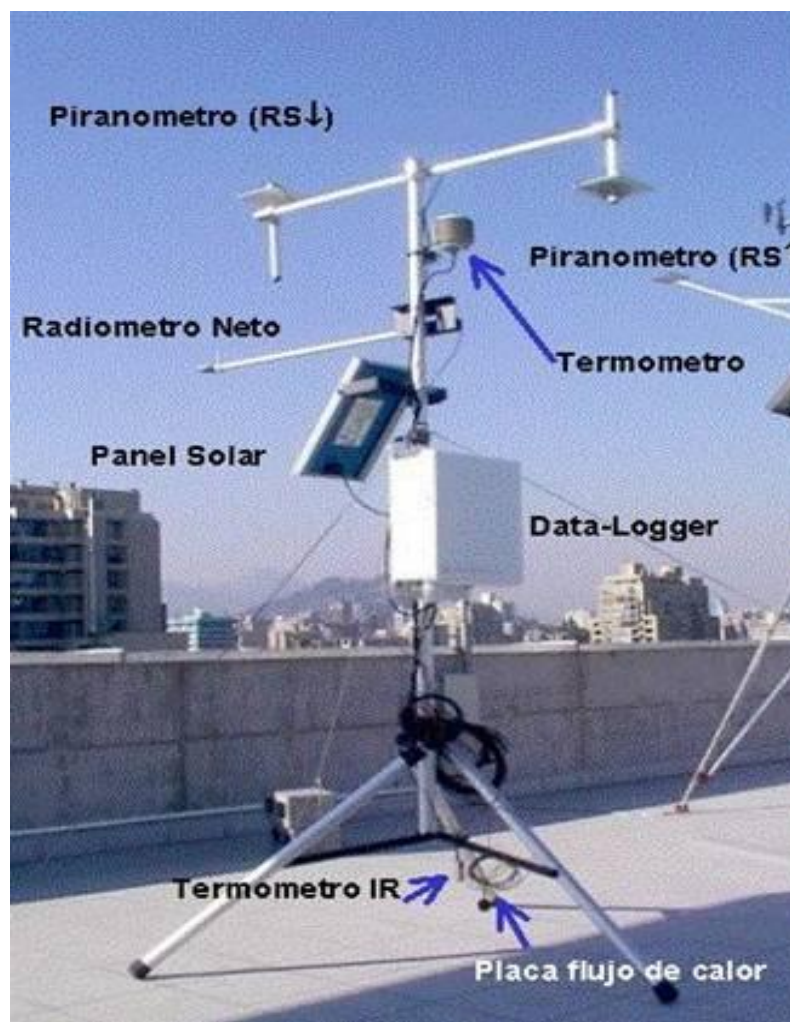
Función: Aumentar la distancia de visibilidad nocturna del conductor en las zonas de alto peligro. La tecnología recomendada es una vialeta de LED que utilice energía solar mediante fotoceldas.



Estación Meteorológica

Objetivo: Proporcionar al conductor información en tiempo real sobre las condiciones climatológicas prevalecientes en la carretera.

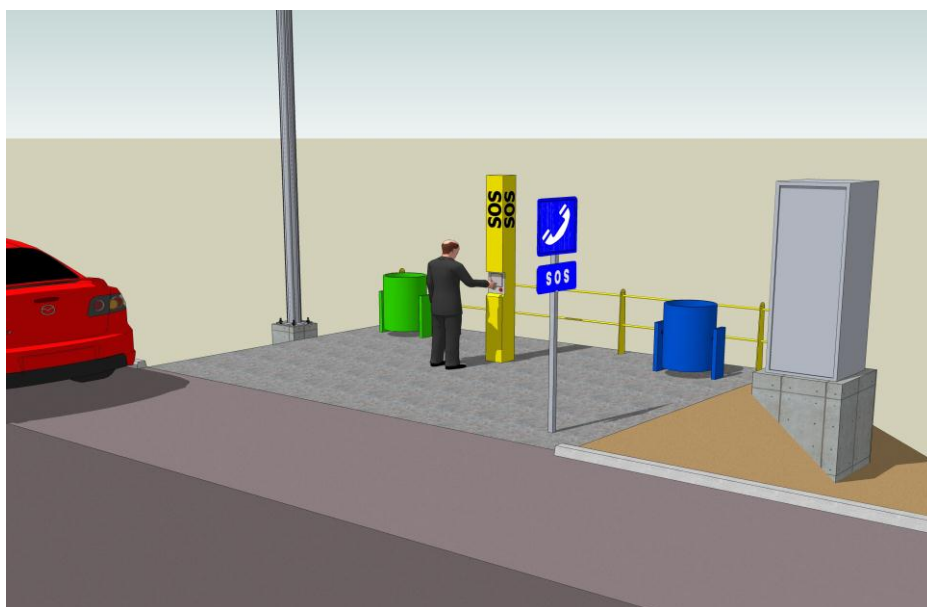
Función: Tomar y transmitir por medio de fibra óptica las condiciones climatológicas prevalecientes en ese momento, logrando con ello un viaje seguro y una mejor operación de la carretera. La tecnología recomendada es un sensor de niebla, de nivel de aguas y de la calidad del aire, todos ellos integrados a una estación de monitoreo meteorológica.



Teléfonos de Emergencia

Objetivo: Proporcionar al conductor un medio de comunicación con las diferentes Instituciones que proveen servicios de emergencias.

Función: Apoyar al conductor en la gestión de incidentes y emergencias, facilitando la comunicación directa con las diferentes Instituciones. La tecnología recomendada es una caseta telefónica de emergencias o un poste SOS.



Centro de Control Vehicular



Los Centros de Control vehicular, tienen como función centralizar la información que proviene de los elementos de apoyo en la carretera como: teléfonos de emergencia, estación meteorológica, sensores, radares, cámaras de video, etc., que comunican los datos recabados por medio de la fibra óptica, estos datos son suministrados al software de administración y gestión de los datos. Posteriormente, con la programación interna (jerarquización de alertas) y los métodos de gestión de emergencias, se emiten alertas o mensajes que serán visualizados por los usuarios de la carretera en las señales de mensajes variables.

Otra forma de enviar los datos de las ocurrencias de eventos en las carreteras es mediante los kioscos virtuales de consulta en los que se apoya al conductor en la búsqueda de algunos sitios de interés y rutas alternas que le permitan realizar su recorrido de una manera confortable y segura, proporcionando aviso oportuno sobre condiciones operativas de las carreteras.

Asimismo, el Centro de Control Vehicular, está vinculado con diferentes entidades públicas y privadas para proveer servicios de apoyo y rescate a los conductores, mediante auxilio vial prestado por los Angeles Verdes, servicios de grúas y remolque de las unidades, asistencia de los servicios médicos, presencia de las autoridades en carreteras como la Policía Federal Preventiva, División Caminos y Policías Estatales y Municipales.

Kioscos Virtuales de Consulta

Objetivo: Proporcionar al conductor un medio de información sobre algunos sitios de interés (servicios de emergencia, estaciones de servicio, tiendas de servicio etc.), así como posibles rutas alternas.

Función: Apoyar al conductor en la búsqueda de algunos sitios de interés y rutas alternas que le permitan realizar su recorrido de una manera confortable y segura. La tecnología recomendada es un dispositivo electrónico con pantalla LCD de alta resolución de 15" o más, Touch Screen y software incluido.



Principales Proveedores

- **SEMEX:** empresa mexicana cuyo objetivo es ofrecer soluciones tecnológicas para satisfacer las necesidades de control y seguridad vial (Integradora) <http://www.semex.com.mx/>
- **ITS México:** empresa especializada en servicios profesionales para la tecnología de la información (Asociación). <http://www.itsmexico.com/>
- **INDRA:** empresa multinacional de Tecnologías de la información. Su principal función es la de ser integradora. www.indracompany.com
- **MMP (Mensajes Móviles Publicitarios):** empresa mexicana de pantallas de LED's. <http://www.mmp.com.mx/es/empresa.php>
- **TO SEE Group:** empresa productora y diseñadora industrial de soluciones integrales de Kioscos Interactivos. <http://www.2cgrp.com/>

5.2 Esquemas de mejora

De todas las tecnologías ennumeradas en la sección anterior (Sección 5.1) y dados los problemas identificados en el diagnóstico (Sección 4.3), se considera que las más convenientes de aplicar en ambos sentidos del tramo de la carretera libre México-Toluca entre los kilómetros 23 (bifurcación en carretera libre y de cuota a la altura de la caseta de cobro) y 35 (entronque de la libre con la de cuota a la altura de “La Marquesa”), son:

- MA.1 Monitoreo climatológico. MA-101 Monitoreo de la información sobre las condiciones climatológicas en el tramo. Estación climatológica. Este elemento proporciona la información que es insumo para los mensajes transmitidos a través de los paneles referidos en el punto subsiguiente.
- MA.1 Monitoreo climatológico. MA-101 Monitoreo de la información sobre las condiciones climatológicas en el tramo. Sistema de aviso. Consiste en paneles en los que, para esta carretera, pudiesen transmitirse mensajes de advertencia sobre la presencia de condiciones atmosféricas desfavorables (lluvia o niebla), etc.
- GOT-103 Control de autopistas/vialidades urbanas. Límites de velocidad dinámicos (mensajes restrictivos). Son tableros en los que se cambian los límites máximos de velocidad de acuerdo con las condiciones prevalecientes del tránsito y el clima.
- GOT-103 Control de autopistas/vialidades urbanas. Radares. Permiten registrar la velocidad de cada vehículo en cada carril y transmitirla al usuario correspondiente, advirtiéndole sobre algún exceso en relación con el límite de ser el caso, a través de paneles.
- SP.4 Intersecciones y enlaces inteligentes. Señalización dinámica en las proximidades de intersecciones complejas. Ésta depende en gran parte del tránsito y la geometría de una intersección en particular.
- SE.1 Notificación de emergencias relacionadas con el transporte y seguridad. SE-101 Teléfono de emergencia. Permite realizar llamadas de emergencia a una central que detona una serie de apoyos al usuario como:

ambulancias, patrullas de auxilio automovilístico (ángeles verdes), gruas, presencia de la autoridad, etc.

Para este caso en particular y a manera de prueba piloto, para el sentido de la Ciudad de México a Toluca, en las curvas localizadas en los kilómetros 25+800 al 26+800, 27+300 al 28+300, 29+800 al 30+300, 31+800 al 33+300 y 35+000, se propone implementar la siguiente secuencia de señales:

1. Señal preventiva tipo puente con una leyenda para cada carril que diga "Precaución curva peligrosa a 1 km".
2. Señal tipo puente, con un tablero de límite de velocidad variable (dependiendo de condiciones atmosféricas y del tránsito) para cada carril.
3. Señal tipo puente, con un radar para cada carril y tablero para transmitir su velocidad al usuario, así como alguna advertencia.
4. Señal tipo bandera, con mensaje sobre el límite de velocidad prevaleciente (variable) en la curva próxima.
5. Chevronees en la curva, con led's alimentados mediante celda solar.

Para el sentido de Toluca hacia la Ciudad de México se propone la misma secuencia de señales en el sentido contrario.

También se propone implementar el Centro de Control Vehicular, así como una estación climatológica, en la tangente en zona suburbana, ubicada en el entorno del kilómetro 30+000. Cabe destacar que una de las ventajas fundamentales para instalar estos elementos en zona suburbana es la existencia de energía eléctrica en dicha zona.

Asimismo, se propone la instalación de señalización dinámica en las proximidades de las cinco intersecciones más peligrosas (ubicadas entre el kilómetro 28+000 y el 33+000), formadas por la interrupción de la barrera central, para permitir el cruce vehicular de un lado al otro de la carretera, particularmente en zonas urbanizadas.

Por último, se propone la instalación de tecnologías de notificación de

emergencias relacionadas con el transporte y seguridad mediante la instalación de tres teléfonos de emergencia para cada sentido, a una equidistancia de menos de 5 kilómetros entre ellos.

La Figura 5.2.1 ilustra la ubicación de todos los elementos anteriores. Se muestra gráficamente la instalación de los elementos y tecnologías ITS a lo largo del tramo demostrativo, ubicados entre el kilómetro 23+000 al 35+000.

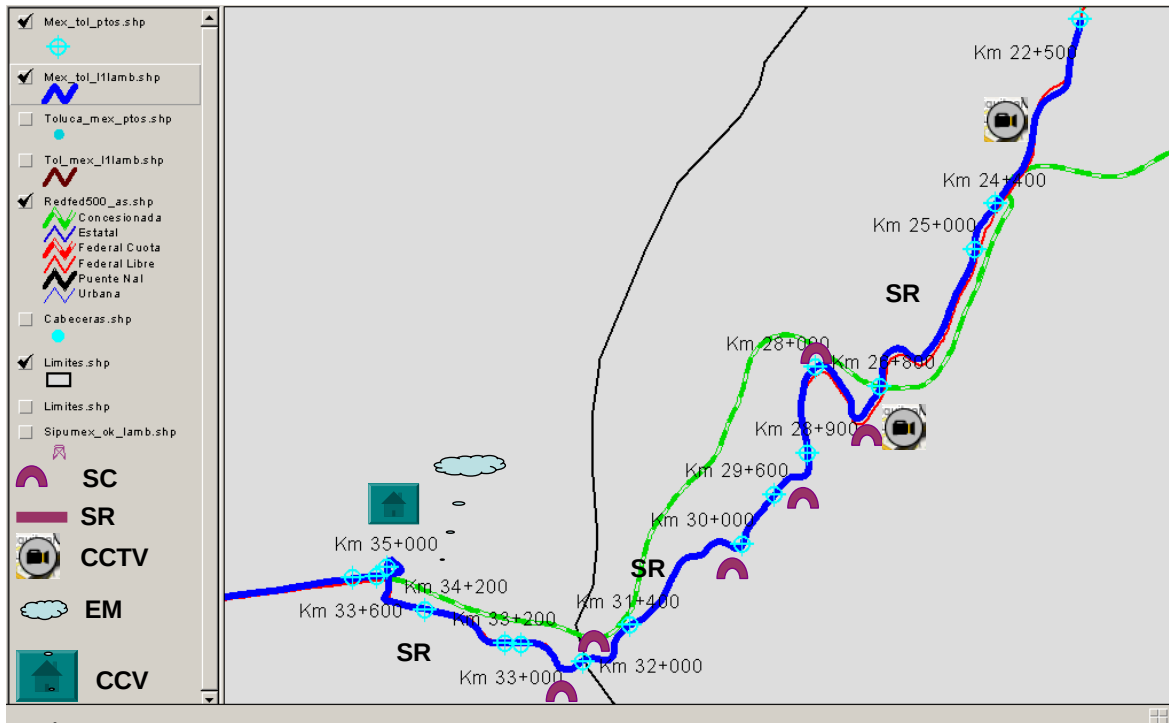


Figura 5.2.1 Vista general con elementos y tecnologías ITS

Para los fines de este trabajo, la Tabla 5.2.1 presenta la estimación de los costos iniciales o de implementación de los diferentes elementos propuestos.

TABLA 5.2.1 Estimación de costos de implementación de las mejoras

Concepto	Número	Costo Unitario	Costo Total
Secuencia de señalamientos para una curva	10	Señal Puente con Límite de Vel \$ 530,228	
		Señal Preventiva Tipo con radar \$ 559,628	
		Señal bandera \$ 210,869	
		Cinco chevrones con led's \$ 21,900	
		Vialetas solares con led's 30 unidades \$33,300	
		Subtotal \$ 1'530,075	\$14,435,250.00
Secuencia de señalamiento en rectas	10	Señal tipo Bandera Semivariable \$210,869	
		Señal tipo Puente con Radares \$559,628	
		Señal con led's \$21,900	
		Vialetas solares con led's 30 unidades \$33,300	
		Subtotal \$ 825,697	\$8,256,970.00
Estación Meteorológica	1	\$480,000	\$480,000
Teléfonos de emergencia	5	\$100,000	\$500,000
Kioscos de Información	2	\$300,000	\$600,000.00
Centro de Control Vehicular (incluye dos cámaras CCTV)	1	\$13,097,826	\$13,097,826.09
Instalación de Fibra óptica (34 Km)	1	Instalación por kilómetro \$ 80,000	\$887,892.38
		TOTAL	\$38,257,938.46

5.3 Alternativa de solución

Una de las alternativas de solución es la utilización de las tecnologías de la arquitectura ITS detectadas, con el fin de mitigar el problema de la accidentalidad en el tramo en estudio. Así como establecer un Centro de Control Vehicular en la Carretera Federal Libre México-Toluca, mediante la implantación y operación de las tecnologías ITS, con el fin de mejorar la seguridad vial, mejorar la respuesta a incidentes que se presenten en dicho tramo, vincular las alertas con diversas autoridades y entes gubernamentales y privados de apoyo, así como notificar a conductores para reducir o evitar los accidentes.

Lo anterior, representa beneficios a corto plazo, considerando que el tramo de la Carretera Federal Libre México-Toluca tiene un alto índice de accidentalidad, lo que genera costos inmediatos en daños materiales, muertes y heridos por cada siniestro que se presenta en la vía.

Requerimientos Funcionales de Equipamiento:

- Sistema Central – Centro de control (hardware y software)
- Monitoreo de tráfico
- Señalización variable (VMS)
- Sistemas de apoyo inmediato
- Caseta telefónica para emergencias (SOS)
- Kioscos virtuales de consulta

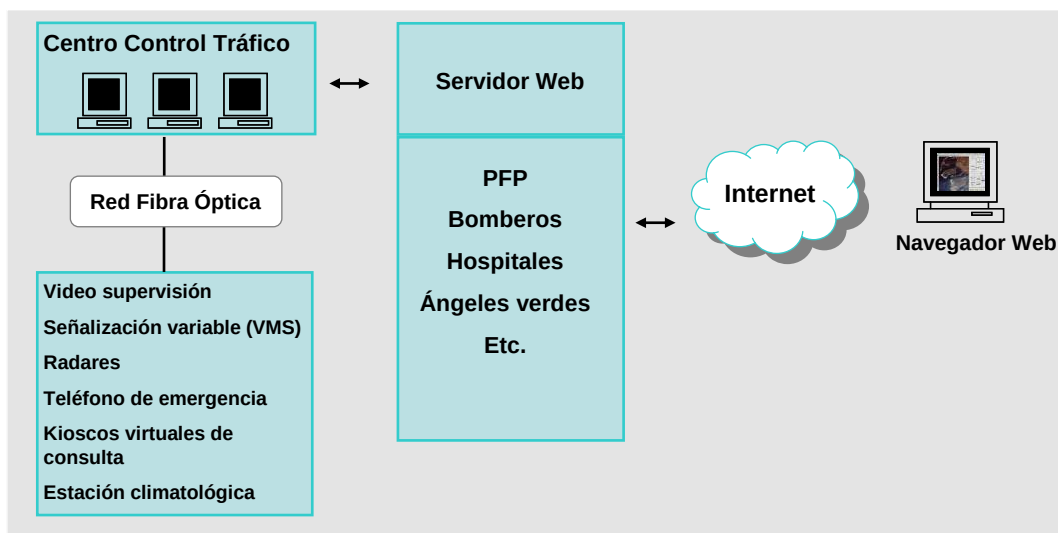


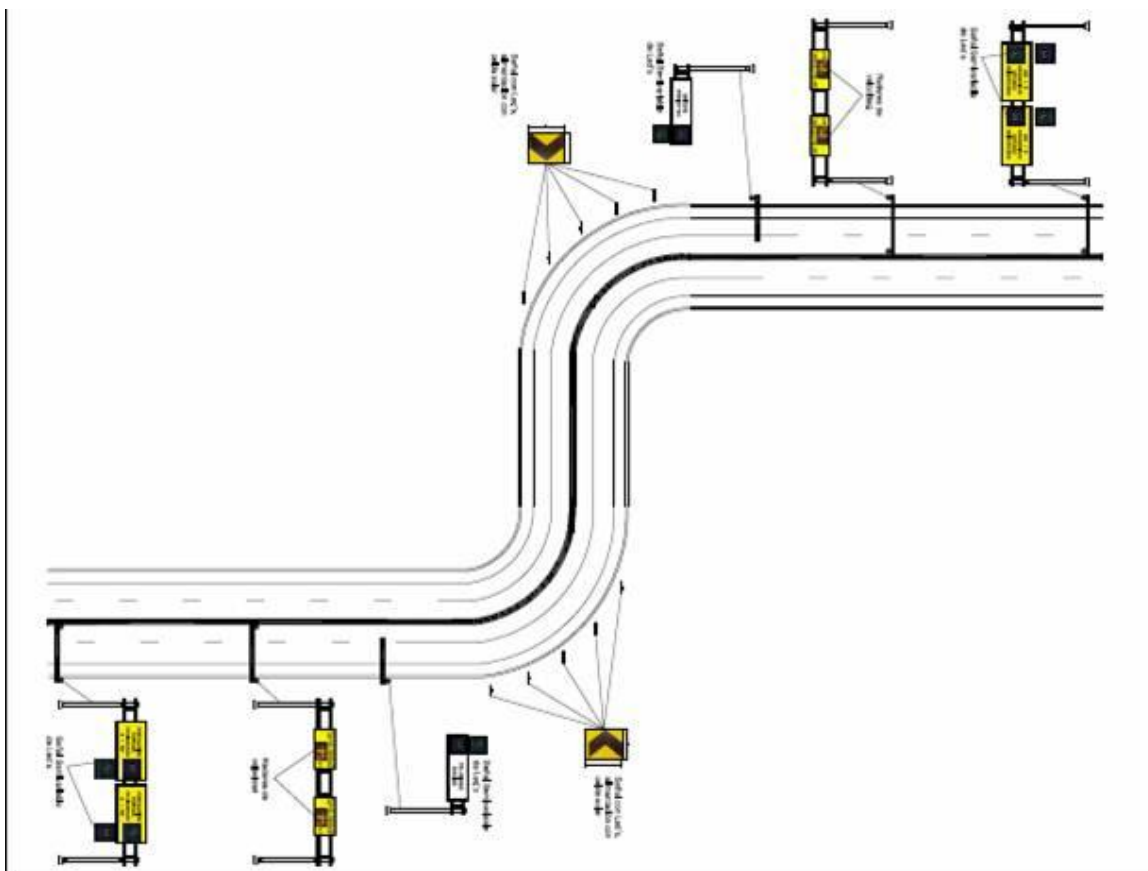
Figura 5.3.1 Esquema operativo de los componentes del Sistema de Control

A continuación se presenta el tipo de Tecnologías ITS necesarias para el proyecto:

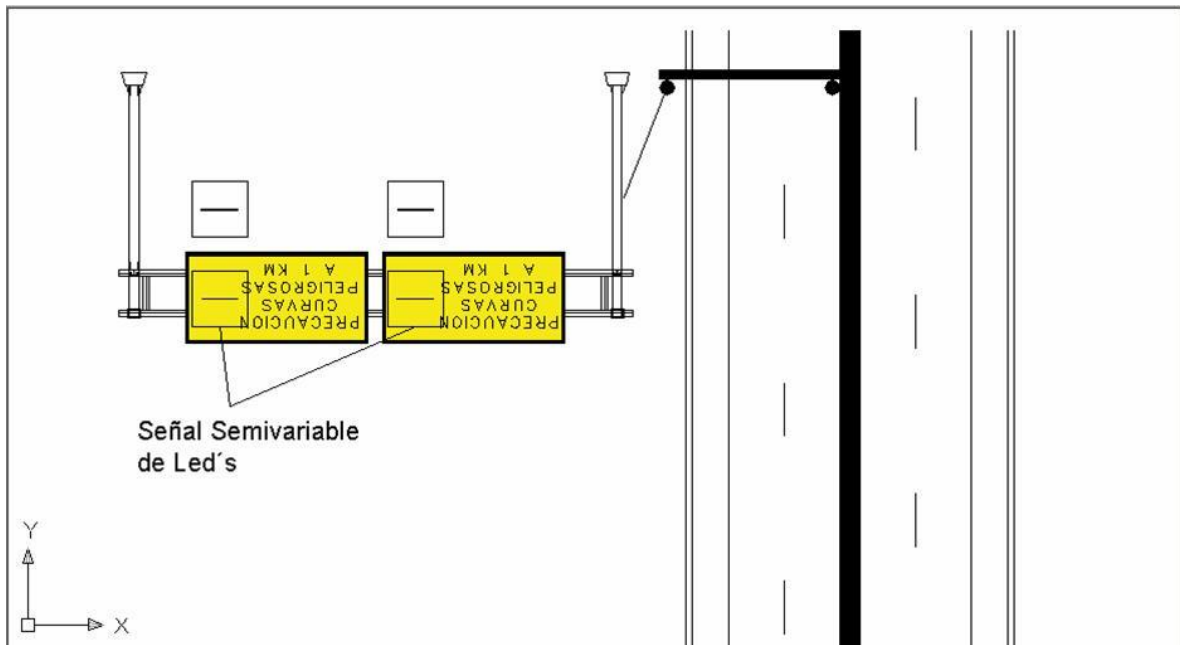
Servicios para la Gestión y operación de tránsito	Beneficios de los servicios
Monitoreo de Tránsito	Mejor gestión del tránsito y operaciones mejoradas.
Difusión de Información de tránsito	Mayor seguridad
Gestión y operaciones de tránsito	Mayor capacidad de acopio de información /vigilancia.
Gestión de emergencias	Mejor gestión de incidentes

En seguida se describe gráficamente, las secuencias de solución propuestas tanto para las curvas con mayor problemática como para los tramos rectos que presentan incidentes por la falta de barrera central que permite el cambio de un cuerpo a otro de la carretera, aunado a la circulación continua con pendientes variables de los vehiculos de largo recorrido.

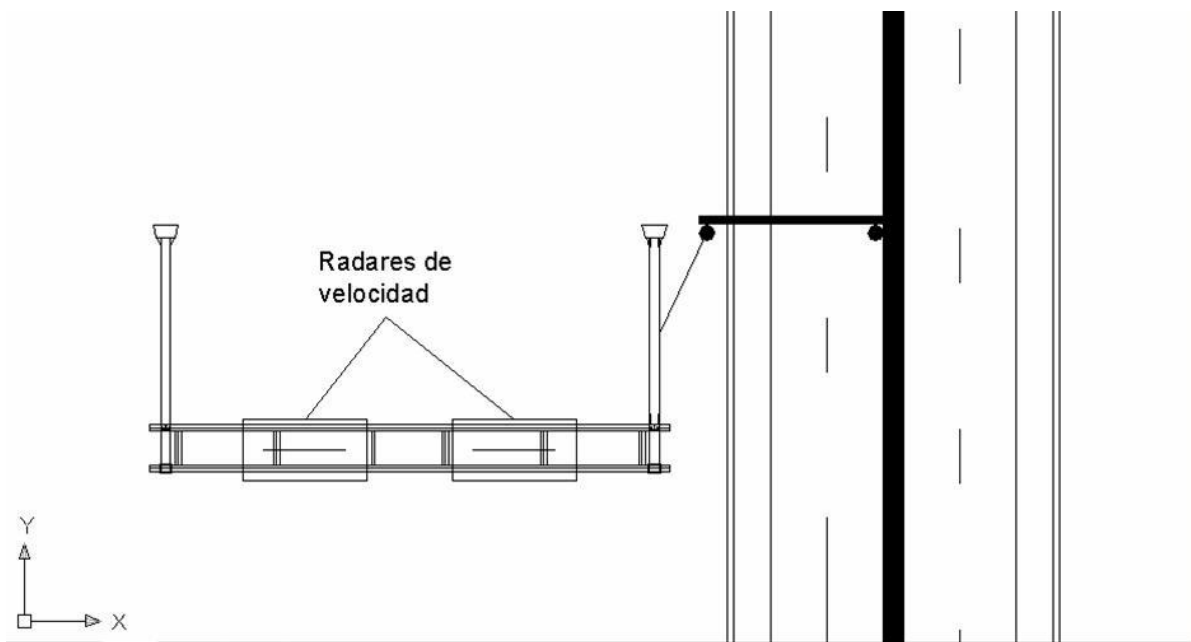
Descripción gráfica de la solución propuesta



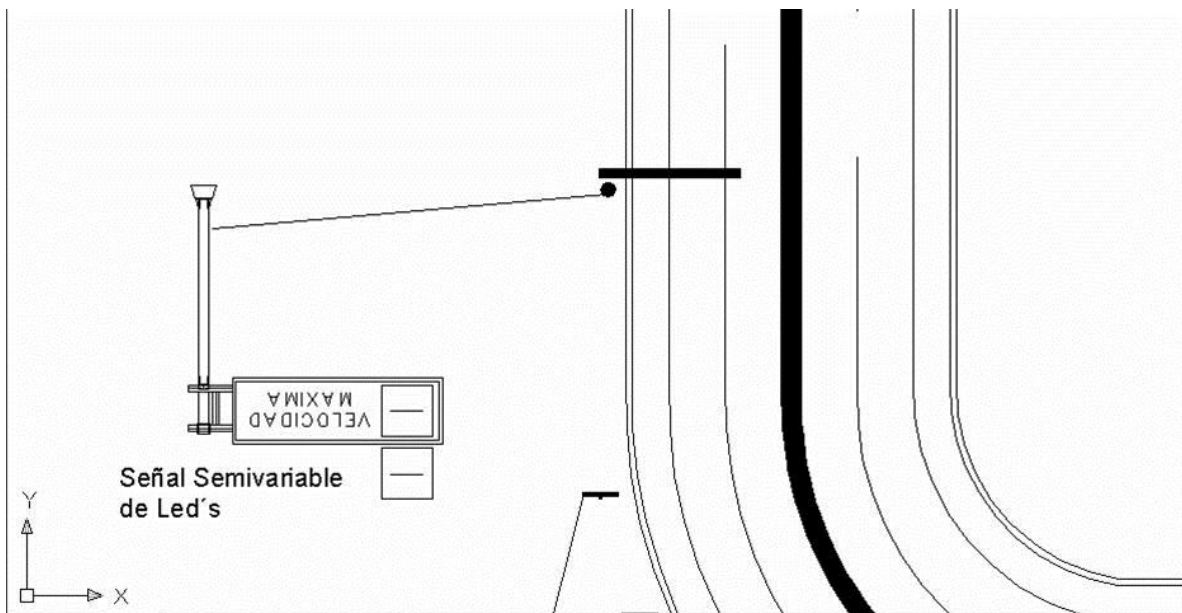
En las siguientes figuras se muestra la secuencia de implementación de la solución en curvas.



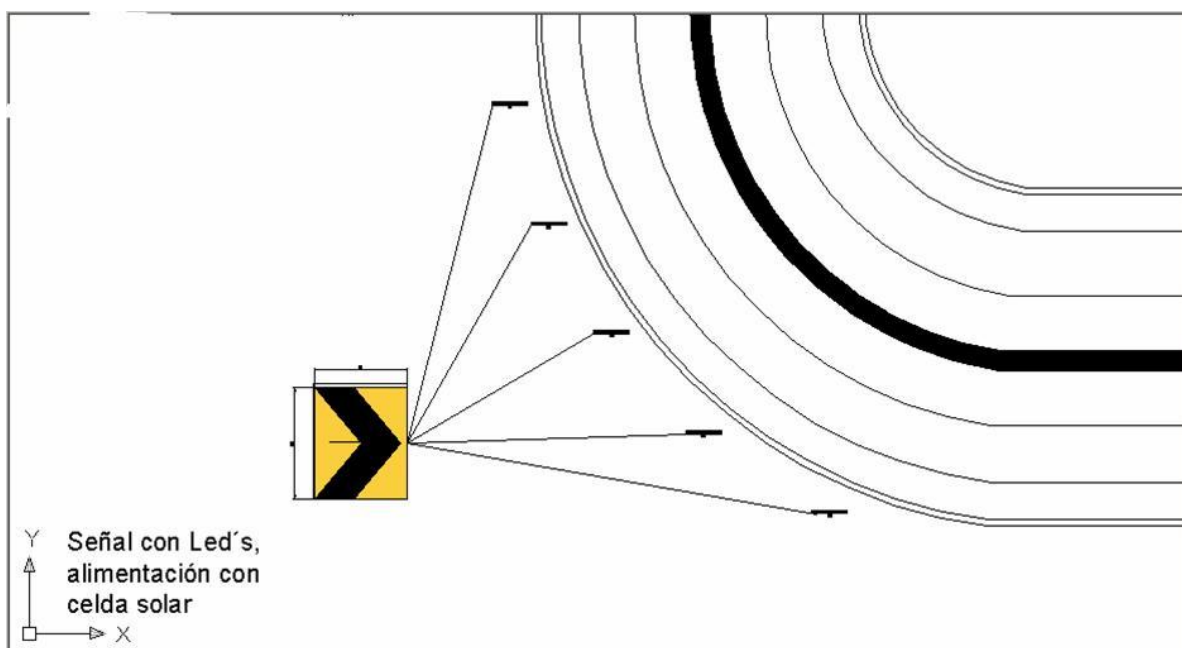
Solución en Curvas (1)



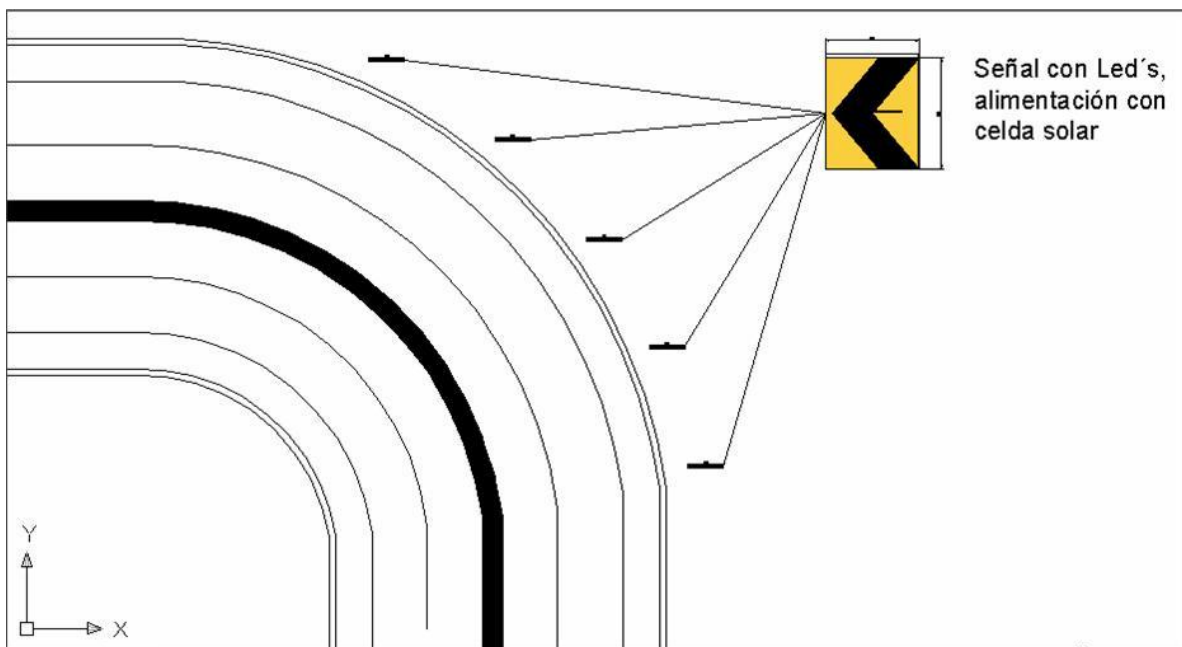
Solución en Curvas (2)



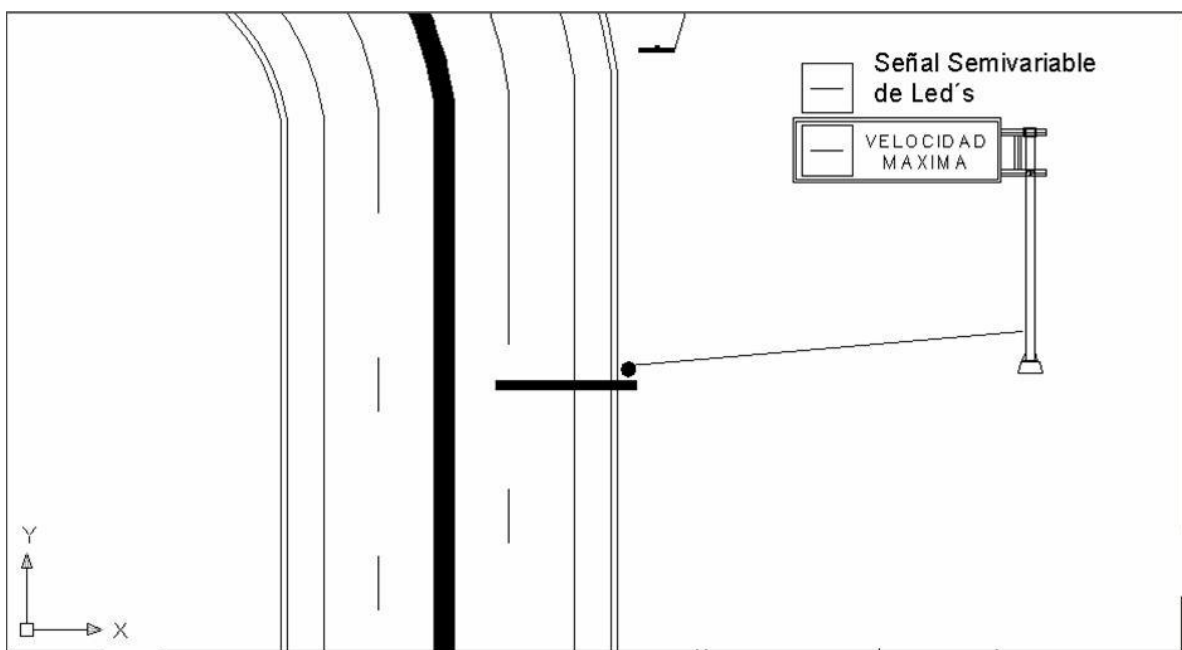
Solución en Curvas (3)



Solución en Curvas (4)



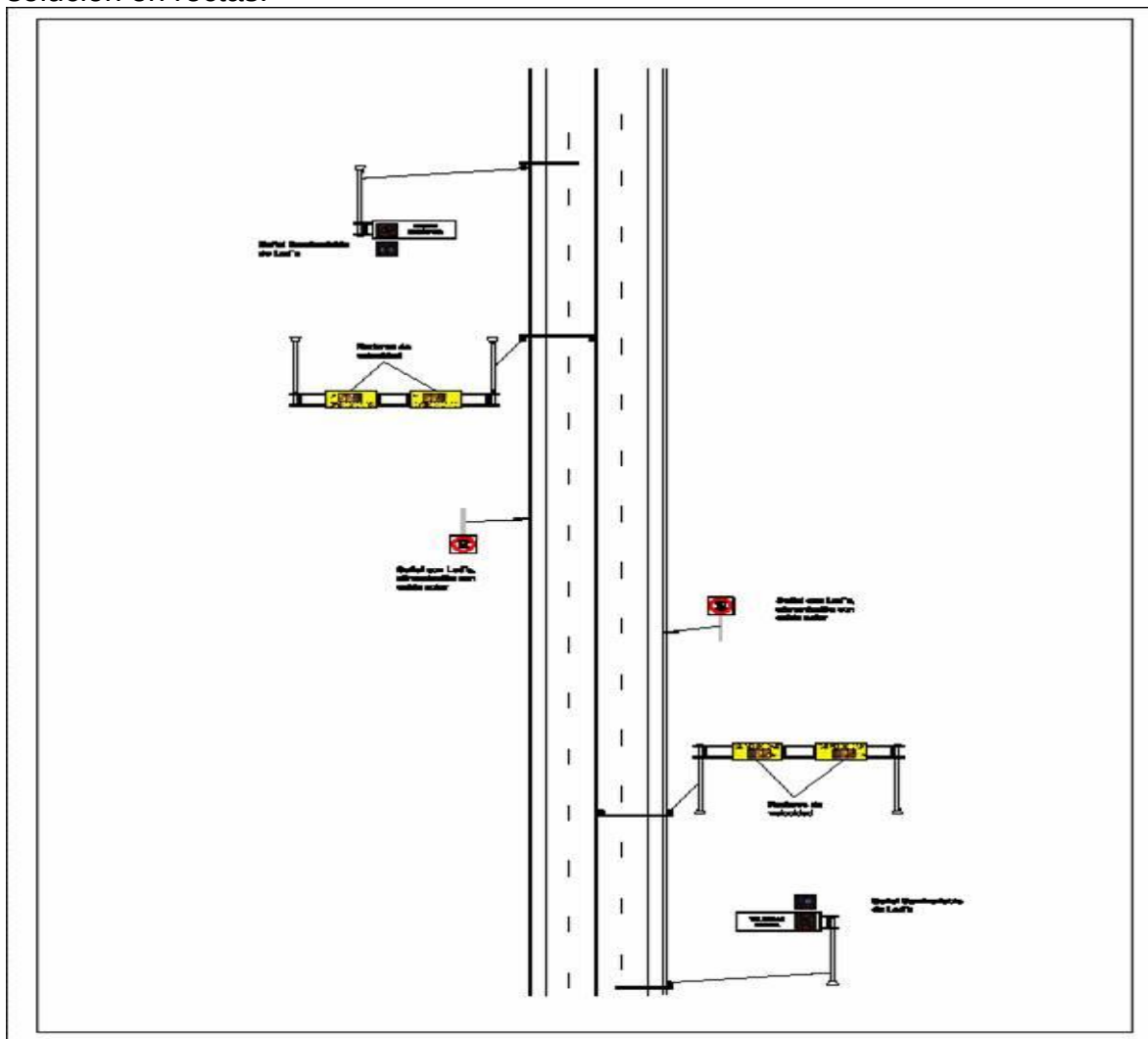
Solución en Curvas (5)

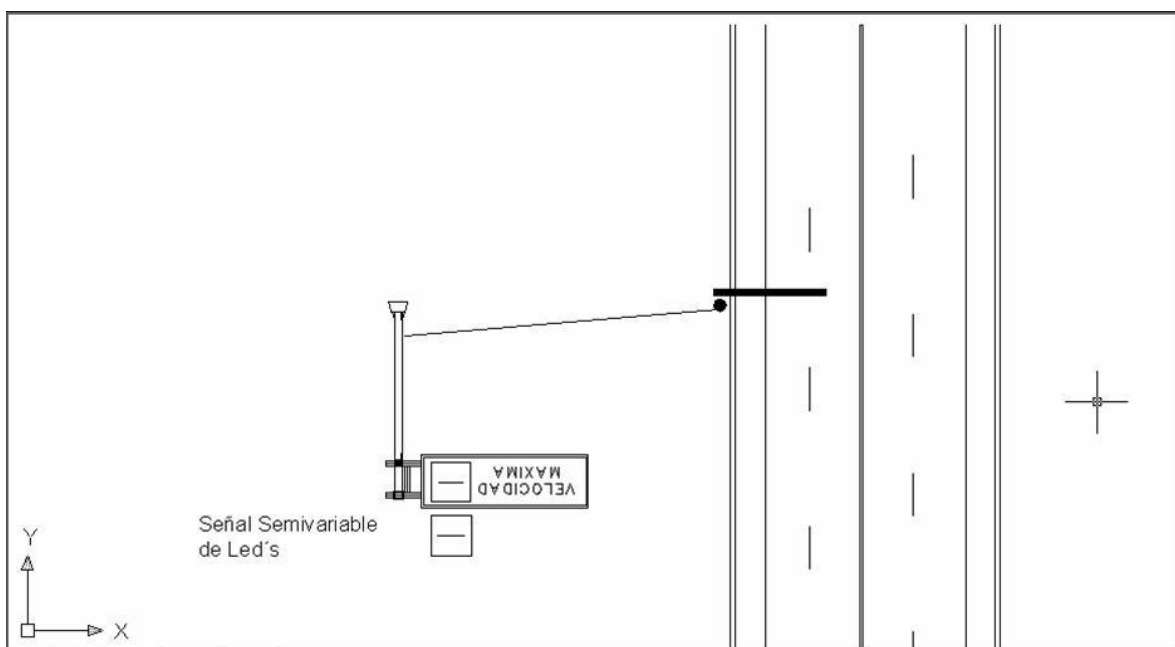


Solución en Curvas (6)

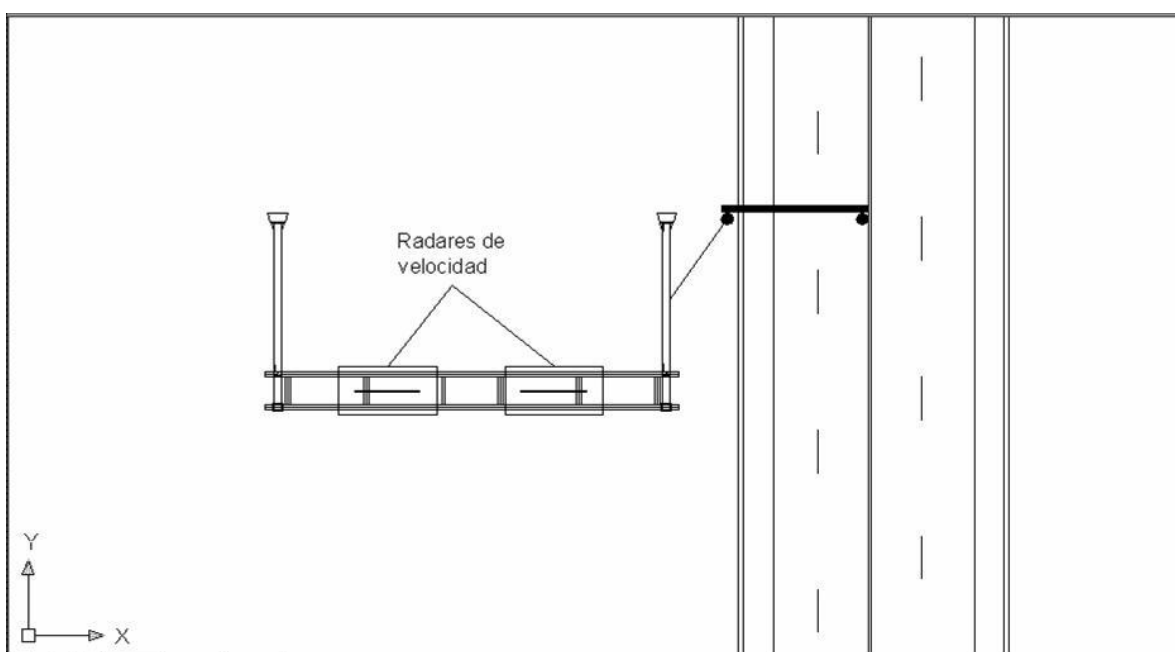
Propuesta en tramos rectos

En las siguientes figuras se muestra la secuencia de implementación de la solución en rectas.

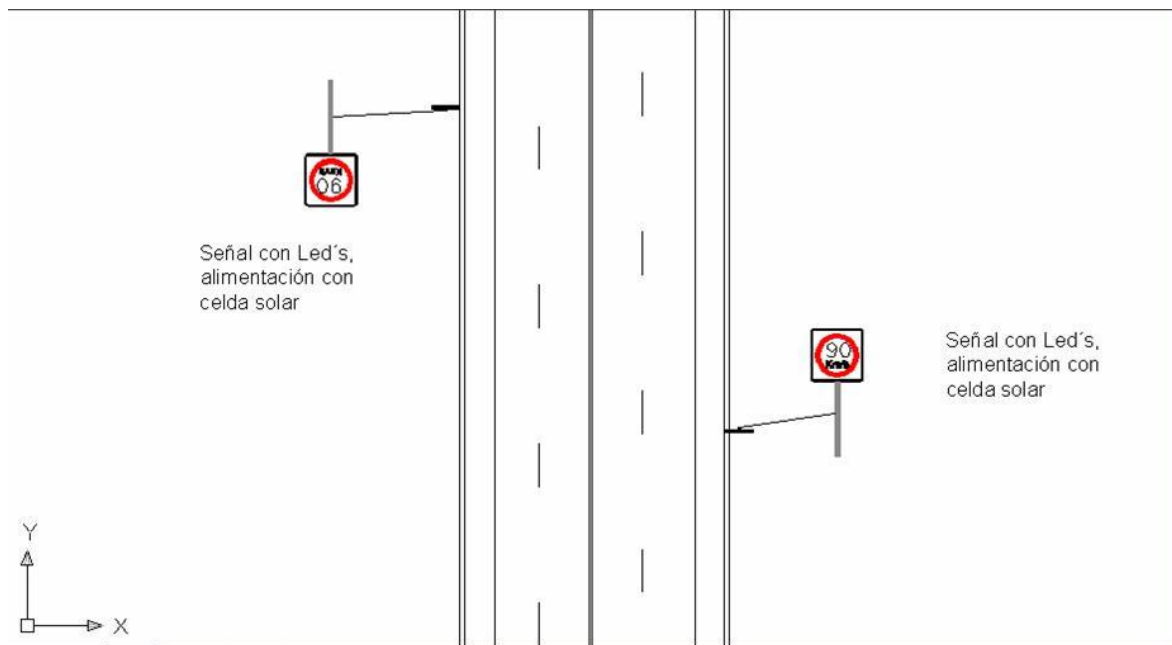




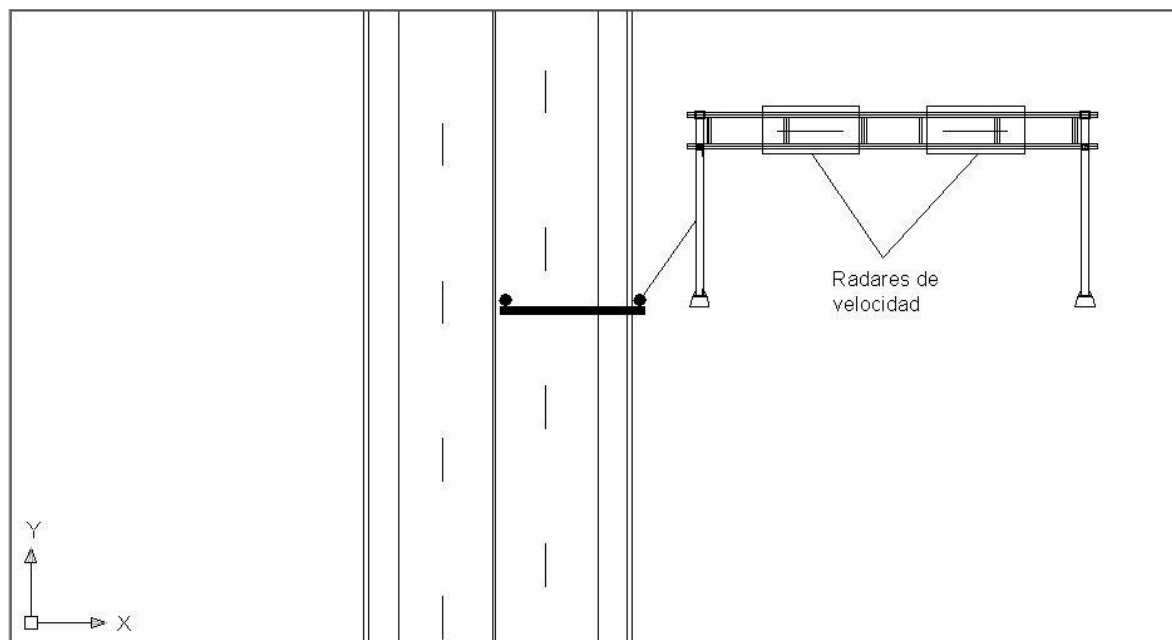
Solución en Rectas (1)



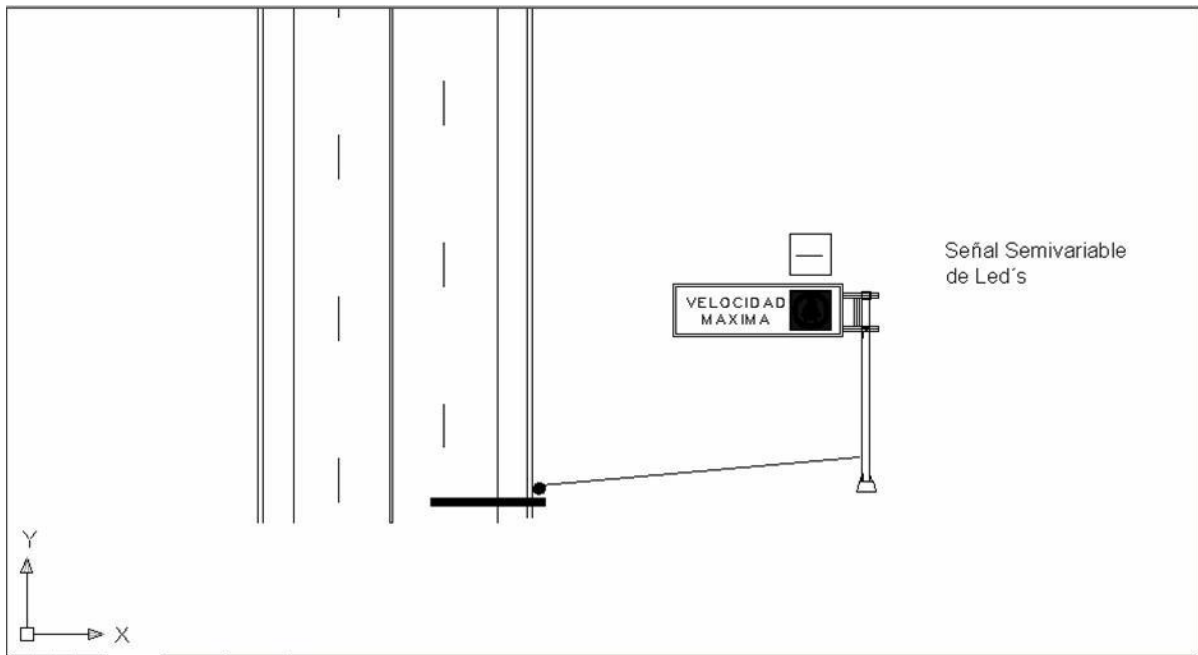
Solución en Rectas (2)



Solución en Rectas (3)



Solución en Rectas (4)



Solución en Rectas (5)

CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA

“La innovación... rara vez es producto de la brillantez intelectual de un individuo. La innovación es el producto de las conexiones entre los individuos y sus ideas”.
Gary Hamel

Se reitera que el análisis de factibilidad que se presenta corresponde a los dispositivos propuestos en el capítulo anterior, para ambos sentidos del tramo de la carretera libre México-Toluca comprendido entre los kilómetros 23 (bifurcación en carretera libre y de cuota a la altura de la caseta de cobro) y 35 (entronque de la libre con la de cuota a la altura de “La Marquesa”).

En el tramo anterior, según el Anuario Estadístico de Accidentes del IMT [Referencia 13 y 14], anualmente se generan en promedio del orden de 53 accidentes, con saldo de 3 muertos, 49 heridos y 79 participantes involucrados (vehículos y peatones).

De acuerdo al estudio realizado sobre la estimación de costos de las inconveniencias externas del tránsito con fines de tarificación [Referencia 15], se consideran los costos unitarios promedio de 400,000 dólares por muerto y 12,000 dólares por lesionado.

Considerando la cuantificación anterior, con una paridad peso dólar de 13,50 pesos, obtenemos como resultado los costos de 5.4 millones de pesos por muerto y 162 mil pesos por lesionado, para los 3 muertos y los 49 lesionados se obtiene un subtotal de 24.138 millones de pesos, que sumado a un monto de 2 millones de pesos por concepto de daños materiales, da un estimado de 26.138 millones de pesos anuales en pérdidas por efecto de los accidentes en el tramo bajo estudio.

En este análisis se asume un horizonte de evaluación de 30 años, así como una tasa de descuento (TD) de 12%. Ambos parámetros anteriores corresponden a los lineamientos marcados por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) para el análisis de proyectos de inversión que se le sometan a consideración.

6.1 Flujo Anual de Costos

La Tabla 6.1 presenta los costos de implementación, así como de mantenimiento y operación para cada uno de los años del horizonte de evaluación anterior.

En la tabla anterior, el costo de equipamiento incurrido en el año 0 del horizonte de evaluación proviene de la Tabla 5.2.1 en el Capítulo 5. Este costo se replica en los años 10 y 20, dado que la vida útil del equipamiento propuesto es de alrededor de 10 años.

El costo de operación y mantenimiento incurrido en cada uno de los años del horizonte de evaluación esta compuesto de los siguientes componentes:

- El servicio mensual de la conexión de la fibra óptica a razón que da un total anual de \$720,000.00;
- El mantenimiento anual de los equipos y software instalados en el tramo demostrativo, que asciende al 5% del monto de inversión inicial en los equipos \$1'912,897.00; y
- Los sueldos de los operadores del centro de control vehicular en tres turnos, o sea un total anual de \$720,000.00.

Cabe mencionar que para la operación continua del Centro de Control Vehicular, se estima necesario la presencia de dos personas por cada turno de 8 hrs., con ello se garantiza la vigilancia del tramo demostrativo y vinculación oportuna con los entes públicos y privados que prestarán los apoyos correspondientes.

TABLA 6.1. Flujo anual de costos de implementación del proyecto

Costos en pesos			
Año	Equipamiento	Operación y Mantenimiento	Total
0	38,257,938	3,352,897	41,610,835
1		3,352,897	3,352,897
2		3,352,897	3,352,897
3		3,352,897	3,352,897
4		3,352,897	3,352,897
5		3,352,897	3,352,897
6		3,352,897	3,352,897
7		3,352,897	3,352,897
8		3,352,897	3,352,897
9		3,352,897	3,352,897
10	38,257,938	3,352,897	41,610,835
11		3,352,897	3,352,897
12		3,352,897	3,352,897
13		3,352,897	3,352,897
14		3,352,897	3,352,897
15		3,352,897	3,352,897
16		3,352,897	3,352,897
17		3,352,897	3,352,897
18		3,352,897	3,352,897
19		3,352,897	3,352,897
20	38,257,938	3,352,897	41,610,835
21		3,352,897	3,352,897
22		3,352,897	3,352,897
23		3,352,897	3,352,897
24		3,352,897	3,352,897
25		3,352,897	3,352,897
26		3,352,897	3,352,897
27		3,352,897	3,352,897
28		3,352,897	3,352,897
29		3,352,897	3,352,897
30		3,352,897	3,352,897
SUMA	114,773,814	103,939,807	218,713,621

6.2 Flujo Anual de Beneficios

Los beneficios económicos anuales se estiman sobre la base de que, con las medidas propuestas, los accidentes y sus saldos se reducirán entre 20 y 50% [Referencias 16,17 y 18]. Por lo tanto, sobre el costo de 26.138 millones de pesos anuales por concepto de pérdidas por efecto de los accidentes, el beneficio anual o reducción del 35% en dicho monto (valor medio entre 20 y 50%) es de 5.22 millones de pesos.

TABLA 6.2.1 Flujo anual de beneficios del proyecto

Año	Beneficios en pesos
0	
1	9,148,300
2	9,697,198
3	10,279,030
4	10,895,772
5	11,549,518
6	12,242,489
7	12,977,038
8	13,755,661
9	14,581,000
10	15,455,860
11	16,383,212
12	17,366,205
13	18,408,177
14	19,512,668
15	20,683,428
16	21,924,433
17	23,239,899
18	24,634,293
19	26,112,351
20	27,679,092
21	29,339,837
22	31,100,228
23	32,966,241
24	34,944,216
25	37,040,869
26	39,263,321
27	41,619,120
28	44,116,267
29	46,763,243
30	49,569,038

6.3 Indicadores de Factibilidad

La Tabla 6.2.1 presenta el flujo anual de beneficios por reducción de accidentes por efecto de las mejoras, correspondiendo a 9.15 millones para el primer año de operación de las mismas e incrementándose a una tasa media de crecimiento anual de 6% según el crecimiento anual del tránsito en el tramo demostrativo. Se reitera que el horizonte global de análisis es de 30 años y la tasa de descuento asumida de 12%, según lineamientos de la SHCP.

La Tabla 6.3.1 presenta el cálculo de indicadores de factibilidad. Puede observarse que el índice de rentabilidad (IR) de la mejora propuesta es de 1.45, el valor presente neto (VPN) de 38 millones de pesos y la tasa interna de retorno (TIR) de 19.38%.

6.4 Análisis de Sensibilidad

Con el fin de analizar la sensibilidad de la factibilidad económica, se efectuaron corridas para 20 y 50% de reducción de los accidentes y sus saldos, obteniéndose los indicadores de rentabilidad correspondientes. Estas corridas se presentan en las Tablas 6.4.1 y 6.4.2 respectivamente.

La Tabla 6.4.3 resume los resultados de las tres corridas efectuadas. Puede observarse que la solución propuesta empieza a tener indicadores de rentabilidad aceptables para reducciones asumidas de accidentes y sus saldos del orden de 25% (23.4% específicamente, interpolando linealmente entre los resultados obtenidos para 20 y 35%). Asimismo, tanto el índice de rentabilidad (IR), como el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR) resultan con valores muy aceptables para 35 y 50% de reducción de accidentes y sus saldos.

Tabla 6.3.1 Cálculo de indicadores de factibilidad

TCMA
TDESC

6
12

Año	Costos	Beneficios	Beneficios Netos (precios constantes sin act)	Costos totales descontados	Beneficios totales descontados	Beneficios Netos VPN) actualizados	VPCosto	1/(1+i) ⁿ	CAE
0	41610835		-41610835	41610835	-41610835	-41610835	41610835	\$1,000000	4626106,24
1	3352897	9148300	5795403	2993658,036	8168125	5174466,964	257915,1538	\$0,892857	4626106,24
2	3352897	9697198	6344301	2672908,96	7730546,875	5057637,915	19839,62722	\$0,797194	4626106,24
3	3352897	10279029,9	6926132,88	2386525,858	7316410,435	4929884,578	1526,125171	\$0,711780	4626106,24
4	3352897	10895771,7	7542874,67	2130826,659	6924459,876	4793633,218	117,3942439	\$0,635518	4626106,24
5	3352897	11549518	8196620,97	1902523,802	6553506,669	4650982,866	9,030326454	\$0,567427	4626106,24
6	3352897	12242489,1	8889592,05	1698681,966	6202425,954	4503743,988	0,694640496	\$0,506631	4626106,24
7	3352897	12977038,4	9624141,39	1516680,327	5870153,135	4353472,808	0,053433884	\$0,452349	4626106,24
8	3352897	13755660,7	10402763,7	1354178,863	5555680,646	4201501,782	0,004110299	\$0,403883	4626106,24
9	3352897	14581000,3	11228103,3	1209088,271	5258054,897	4048966,626	0,000316177	\$0,360610	4626106,24
10	41610835	15455860,4	-26154974,6	13397575,22	4976373,385	-8421201,838	0,000301837	\$0,321973	4626106,24
11	3352897	16383212	13030315	963877,767	4709781,953	3745904,186	1,87087E-06	\$0,287476	4626106,24
12	3352897	17366204,7	14013307,7	860605,1491	4457472,206	3596867,057	1,43913E-07	\$0,256675	4626106,24
13	3352897	18408177	15055280	768397,4546	4218679,052	3450281,597	1,10702E-08	\$0,229174	4626106,24
14	3352897	19512667,6	16159770,6	686069,1559	3992678,388	3306609,233	8,51556E-10	\$0,204620	4626106,24
15	3352897	20683427,7	17330530,7	612561,7463	3778784,903	3166223,157	6,55043E-11	\$0,182696	4626106,24
16	3352897	21924433,3	18571536,3	546930,1306	3576349,998	3029419,867	5,03879E-12	\$0,163122	4626106,24
17	3352897	23239899,3	19887002,3	488330,4738	3384759,819	2896429,346	3,876E-13	\$0,145644	4626106,24
18	3352897	24634293,3	21281396,3	436009,3516	3203433,4	2767424,049	2,98153E-14	\$0,130040	4626106,24
19	3352897	26112350,9	22759453,9	389294,0639	3031820,897	2642526,833	2,29349E-15	\$0,116107	4626106,24
20	41610835	27679091,9	-13931743,1	4313660,657	2869401,92	-1444258,737	2,18947E-15	\$0,103667	4626106,24

Continuación Tabla 6.3.1

21	3352897	29339837,4	25986940,4	310342,8443	2715683,96	2405341,116	1,35709E-17	\$0,092560	4626106,24
22	3352897	31100227,7	27747330,7	277091,8253	2570200,891	2293109,066	1,04392E-18	\$0,082643	4626106,24
23	3352897	32966241,3	29613344,3	247403,4154	2432511,557	2185108,142	8,03014E-20	\$0,073788	4626106,24
24	3352897	34944215,8	31591318,8	220895,9066	2302198,438	2081302,532	6,17703E-21	\$0,065882	4626106,24
25	3352897	37040868,8	33687971,8	197228,4881	2178866,379	1981637,891	4,75156E-22	\$0,058823	4626106,24
26	3352897	39263320,9	35910423,9	176096,8643	2062141,395	1886044,53	3,65505E-23	\$0,052521	4626106,24
27	3352897	41619120,2	38266223,2	157229,3432	1951669,534	1794440,191	2,81158E-24	\$0,046894	4626106,24
28	3352897	44116267,4	40763370,4	140383,3421	1847115,809	1706732,467	2,16275E-25	\$0,041869	4626106,24
29	3352897	46763243,4	43410346,4	125342,2697	1748163,176	1622820,907	1,66365E-26	\$0,037383	4626106,24
30	3352897	49569038	46216141	111912,7408	1654511,578	1542598,837	1,27973E-27	\$0,033378	4626106,24
	218713621	723248005	504534384	84903145,95	123241962,1	38338816,17	41890243,08	\$9,055184	

IR	1,45		CAE= \$ 4,626,106.24
VPN	\$38,338,816,17		
TIR	19,38	%	
TRI	12,44	%	

TCMA
TDESC

6
12

Tabla 6.4.1 Cálculo de indicadores de factibilidad

Año	Costos	Beneficios	Beneficios Netos (precios constantes sin act)	Costos totales descontados	Beneficios totales descontados	Beneficios Netos VPN) actualizados	VPCosto	1/(1+i)ⁿ	CAE
0	41610835		-41610835	41610835	-41610835	-41610835	41610835	1	4626106,24
1	3352897	5227600	1874703	2993658,036	4667500	1673841,964	257915,154	0,89285714	4626106,24
2	3352897	5541256	2188359	2672908,96	4417455,357	1744546,397	19839,6272	0,79719388	4626106,24
3	3352897	5873731,36	2520834,36	2386525,858	4180805,963	1794280,105	1526,12517	0,71178025	4626106,24
4	3352897	6226155,24	2873258,24	2130826,659	3956834,215	1826007,556	117,394244	0,63551808	4626106,24
5	3352897	6599724,56	3246827,56	1902523,802	3744860,953	1842337,151	9,03032645	0,56742686	4626106,24
6	3352897	6995708,03	3642811,03	1698681,966	3544243,402	1845561,436	0,6946405	0,50663112	4626106,24
7	3352897	7415450,51	4062553,51	1516680,327	3354373,22	1837692,893	0,05343388	0,45234922	4626106,24
8	3352897	7860377,54	4507480,54	1354178,863	3174674,655	1820495,791	0,0041103	0,40388323	4626106,24
9	3352897	8332000,19	4979103,19	1209088,271	3004602,798	1795514,527	0,00031618	0,36061002	4626106,24
10	41610835	8831920,21	-32778914,8	13397575,22	2843641,934	-10553933,29	0,00030184	0,32197324	4626106,24
11	3352897	9361835,42	6008938,42	963877,767	2691303,973	1727426,206	1,8709E-06	0,2874761	4626106,24
12	3352897	9923545,54	6570648,54	860605,1491	2547126,975	1686521,826	1,4391E-07	0,25667509	4626106,24
13	3352897	10518958,3	7166061,28	768397,4546	2410673,744	1642276,289	1,107E-08	0,22917419	4626106,24
14	3352897	11150095,8	7797198,77	686069,1559	2281530,508	1595461,352	8,5156E-10	0,20461981	4626106,24
15	3352897	11819101,5	8466204,52	612561,7463	2159305,659	1546743,913	6,5504E-11	0,18269626	4626106,24
16	3352897	12528247,6	9175350,61	546930,1306	2043628,57	1496698,44	5,0388E-12	0,16312166	4626106,24
17	3352897	13279942,5	9927045,47	488330,4738	1934148,468	1445817,994	3,876E-13	0,14564434	4626106,24
18	3352897	14076739	10723842	436009,3516	1830533,372	1394524,02	2,9815E-14	0,13003959	4626106,24
19	3352897	14921343,4	11568446,4	389294,0639	1732469,084	1343175,02	2,2935E-15	0,11610678	4626106,24
20	41610835	15816624	-25794211	4313660,657	1639658,24	-2674002,417	2,1895E-15	0,10366677	4626106,24

Continuación Tabla 6.4.1

21	3352897	16765621,4	13412724,4	310342,8443	1551819,406	1241476,562	1,3571E-17	0,09255961	4626106,24
22	3352897	17771558,7	14418661,7	277091,8253	1468686,223	1191594,398	1,0439E-18	0,08264251	4626106,24
23	3352897	18837852,2	15484955,2	247403,4154	1390006,604	1142603,189	8,0301E-20	0,07378796	4626106,24
24	3352897	19968123,3	16615226,3	220895,9066	1315541,965	1094646,058	6,177E-21	0,0658821	4626106,24
25	3352897	21166210,7	17813313,7	197228,4881	1245066,502	1047838,014	4,7516E-22	0,05882331	4626106,24
26	3352897	22436183,4	19083286,4	176096,8643	1178366,511	1002269,647	3,655E-23	0,05252081	4626106,24
27	3352897	23782354,4	20429457,4	157229,3432	1115239,734	958010,3906	2,8116E-24	0,04689358	4626106,24
28	3352897	25209295,6	21856398,6	140383,3421	1055494,748	915111,4059	2,1628E-25	0,04186927	4626106,24
29	3352897	26721853,4	23368956,4	125342,2697	998950,3865	873608,1168	1,6637E-26	0,03738327	4626106,24
30	3352897	28325164,6	24972267,6	111912,7408	945435,1873	833522,4464	1,2797E-27	0,03337792	4626106,24
	218713621	413284574	194570953	84903145,95	70423978,36	-14479167,6	41890243,1	9,05518397	

IR	0,83			
VPN	\$-14,479,167.6		CAE=	\$4,626,106.24
TIR	8,97	%		
TRI	4,02	%		

Tabla 6.4.2 Cálculo de indicadores de factibilidad

TCMA
TDESC

6
12

Año	Costos	Beneficios	Beneficios Netos (precios constantes sin act)	Costos totales descontados	Beneficios totales descontados	Beneficios Netos VPN) actualizados	VPCosto	1/(1+i) ⁿ	CAE
0	41610835		-41610835	41610835	-41610835	-41610835	41610835	1	4626106,24
1	3352897	13069000	9716103	2993658,036	11668750	8675091,964	257915,154	0,89285714	4626106,24
2	3352897	13853140	10500243	2672908,96	11043638,39	8370729,432	19839,6272	0,79719388	4626106,24
3	3352897	14684328,4	11331431,4	2386525,858	10452014,91	8065489,05	1526,12517	0,71178025	4626106,24
4	3352897	15565388,1	12212491,1	2130826,659	9892085,537	7761258,879	117,394244	0,63551808	4626106,24
5	3352897	16499311,4	13146414,4	1902523,802	9362152,384	7459628,581	9,03032645	0,56742686	4626106,24
6	3352897	17489270,1	14136373,1	1698681,966	8860608,506	7161926,54	0,6946405	0,50663112	4626106,24
7	3352897	18538626,3	15185729,3	1516680,327	8385933,05	6869252,723	0,05343388	0,45234922	4626106,24
8	3352897	19650943,9	16298046,9	1354178,863	7936686,637	6582507,773	0,0041103	0,40388323	4626106,24
9	3352897	20830000,5	17477103,5	1209088,271	7511506,996	6302418,725	0,00031618	0,36061002	4626106,24
10	41610835	22079800,5	-19531034,5	13397575,22	7109104,835	-6288470,387	0,00030184	0,32197324	4626106,24
11	3352897	23404588,5	20051691,5	963877,767	6728259,933	5764382,166	1,8709E-06	0,2874761	4626106,24
12	3352897	24808863,9	21455966,9	860605,1491	6367817,437	5507212,288	1,4391E-07	0,25667509	4626106,24
13	3352897	26297395,7	22944498,7	768397,4546	6026684,36	5258286,905	1,107E-08	0,22917419	4626106,24
14	3352897	27875239,4	24522342,4	686069,1559	5703826,269	5017757,113	8,5156E-10	0,20461981	4626106,24
15	3352897	29547753,8	26194856,8	612561,7463	5398264,148	4785702,401	6,5504E-11	0,18269626	4626106,24
16	3352897	31320619	27967722	546930,1306	5109071,425	4562141,295	5,0388E-12	0,16312166	4626106,24
17	3352897	33199856,2	29846959,2	488330,4738	4835371,17	4347040,697	3,876E-13	0,14564434	4626106,24
18	3352897	35191847,5	31838950,5	436009,3516	4576333,429	4140324,078	2,9815E-14	0,13003959	4626106,24
19	3352897	37303358,4	33950461,4	389294,0639	4331172,71	3941878,646	2,2935E-15	0,11610678	4626106,24
20	41610835	39541559,9	-2069275,11	4313660,657	4099145,6	-214515,0564	2,1895E-15	0,10366677	4626106,24

Continuación Tabla 6.4.2

21	3352897	41914053,5	38561156,5	310342,8443	3879548,515	3569205,67	1,3571E-17	0,09255961	4626106,24
22	3352897	44428896,7	41075999,7	277091,8253	3671715,558	3394623,733	1,0439E-18	0,08264251	4626106,24
23	3352897	47094630,5	43741733,5	247403,4154	3475016,511	3227613,095	8,0301E-20	0,07378796	4626106,24
24	3352897	49920308,3	46567411,3	220895,9066	3288854,912	3067959,005	6,177E-21	0,0658821	4626106,24
25	3352897	52915526,8	49562629,8	197228,4881	3112666,256	2915437,768	4,7516E-22	0,05882331	4626106,24
26	3352897	56090458,4	52737561,4	176096,8643	2945916,278	2769819,414	3,655E-23	0,05252081	4626106,24
27	3352897	59455885,9	56102988,9	157229,3432	2788099,334	2630869,991	2,8116E-24	0,04689358	4626106,24
28	3352897	63023239,1	59670342,1	140383,3421	2638736,87	2498353,528	2,1628E-25	0,04186927	4626106,24
29	3352897	66804633,4	63451736,4	125342,2697	2497375,966	2372033,697	1,6637E-26	0,03738327	4626106,24
30	3352897	70812911,5	67460014,5	111912,7408	2363587,968	2251675,227	1,2797E-27	0,03337792	4626106,24
	218713621	1033211436	814497815	84903145,95	176059945,9	91156799,94	41890243,1	9,05518397	

IR	2,07		CAE	\$ 4,626,106.24
VPN	\$ 91,156,799.94			
TIR	29,15	%		
TRI	20,85	%		

**Tabla 6.4.3 Resumen de resultados para las tres corridas
o casos considerados**

Casos	Indice de Rentabilidad (IR)	Valor Presente Neto (VPN)	Tasa Interna de Retorno (TIR)
Reducción de accidentes y sus saldos de 20%	0.83%	\$ -14,479,167.60	8.97%
Reducción de accidentes y sus saldos de 35%	1.45%	\$ 38,338,816.17	19.38%
Reducción de accidentes y sus saldos de 50%	2.07%	\$ 91,156,799.94	29.15%

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

*El verdadero viaje de descubrimiento
no consiste en buscar nuevas tierras sino en ver con nuevos ojos.
—Marcel Proust*

A partir de todos los análisis realizados así como del diagnóstico generado y de la propuesta de solución, se concluye que:

- La Carretera Federal Libre México-Toluca es una de las más peligrosas del país, con un costo anual por accidentes por kilómetro, de alrededor de 192 mil dólares.
- En la actualidad no se cuenta con experiencias de aplicación de tecnologías ITS y soluciones integradas en la Red Carretera Federal libre, a diferencia de las empresas concesionarias (p. ej. IDEAL, ICA, OHL, ISOLUX-CORSÁN, etc.) que a partir de los compromisos adquiridos en la concesión de la infraestructura están obligados a proveer ciertos niveles de seguridad y prestaciones a los usuarios de la infraestructura. Por ello, es necesario que la SCT a través de la DGAF implemente la aplicación de tecnologías ITS en un tramo demostrativo para adquirir experiencia y criterios de selección en la adquisición, implementación y operación de nuevas tecnologías.
- En virtud de lo anterior, es vital un enfoque de análisis y aplicación más fuerte de las tecnologías de la información y la comunicación, mismas que pudieran contribuir tanto en la disminución de percances a través de la RCF libre así como en el costo total de los mismos.
- En la implementación del Centro de Control Vehicular, se recomienda considerar el desarrollo de software a partir de la recopilación de datos que generan los componentes de tecnologías ITS, mediante la aplicación de un estándar de aseguramiento de la calidad en el desarrollo de software, así como la aplicación de lenguajes de programación de código abierto. Esto último debido a los altos costos que representa el software comercial y a la dependencia tecnológica y los costos de mantenimiento y actualización de la versión correspondiente.

- El proyecto es técnicamente viable debido a:
 - ◆ A los avances en la tecnología de adquisición de datos (por ejemplo el programa SAADA implementado por el IMT).
 - ◆ Capacidad técnica para administrar y enviar información en forma remota en tiempo real.
 - ◆ La disponibilidad comercial de tecnologías ITS y la integración de las mismas.
 - ◆ En el país se cuenta con personal con experiencia.
- El Centro Control Vehicular podrá ser integrado a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- La parte ambiental no será afectada debido a que la instrumentación y operación del centro no impacta el entorno ambiental.
- Finalmente, se cumplió con los objetivos de la tesis.

CAPÍTULO 8. REFERENCIAS

1. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2007).Arquitectura Nacional de Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS) para México. México, D.F.
2. Dirección General de Autotransporte Federal de la SCT. Minuta de la reunión celebrada el 7 de julio de 2008. México, DF.
3. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), Consulta Interactiva de Datos de Estadísticas de Mortalidad,
<http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/continuas/vitales/bd/mortalidad/MortalidadGeneral.asp?s=est&c=11144>
4. Secretaría de Salud (1987), Certificado de Defunción, México, D.F.
5. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2009), “Proyecto de Mejoramiento de la Seguridad Vial: Establecimiento de Metas Nacionales y Regionales de Reducción de Accidentes de Tránsito”,
<http://www.conaset.cl/images/doc/proyectocepalnacionesunidas.pdf>
6. Rascón Ch., Mendoza A. Academia de Ingeniería de México (2011). Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México. México.
7. Instituto Mexicano del Transporte (IMT) (2005), Sistema para la Adquisición y Administración de Datos de Accidentes (SAADA), Querétaro, México.
7. Presidencia de la República, Programa Nacional de Infraestructura 2007-2012, México, D.F. (2007).
8. Asociación Mundial de la Carretera (PIARC), Seminario Internacional sobre Tarificación de Carreteras: Financiamiento, Regulación y Equidad, Cancún, México (2005).
9. Mendoza A. and García-Chávez A. 2000. Potential Applications of Intelligent Transportation Systems to Road Freight Transport en Mexico. TRB, No. 1707.
10. Rafael Izquierdo, Editor. 1997. Transportes, Un Enfoque Integral. Universidad Politécnica de Madrid y Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, España.

11. ITS America, USDOT. "Nacional ITS Program Plan. Intelligent Transportation Systems. Volume II". First Edition, March, 1995. Página en Internet de ITS America "Access ITS America" <http://www.itsa.org>.
12. Tucker, Paul. "Intelligent Transport Systems. A Review of Technologies, Markets and Prospects". FT Automotive, 1998.
13. Instituto Mexicano del Transporte, Anuario Estadístico de Accidente, 2009, Querétaro, Querétaro. Documento Técnico.
14. Bases de datos de accidentes ocurridos en la Red Carretera Federal, SAADA (Sistema para la Adquisición y Administración de datos de accidentes), Unidades Generales de Servicios Técnicos (UGST) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), México (2001 a 2007).
15. Mendoza A, Estimación del costo de las inconveniencias externas del tránsito con fines de tarificación, Seminario Internacional sobre Tarificación de Carreteras. Financiamiento, Regulación y Equidad, PIARC y AMIVTAC Cancún, México (2005)
16. Del Pozo, Patricia, Experiencia internacional en sistemas inteligentes de transporte y el proceso de evaluación (ITS America-EEUU), liga electrónica www.ibec-its.org
17. Diversos artículos sobre los beneficios de la implementación de los ITS en el mundo. Liga electrónica www.sectra.cl/its/sst/sst.htm
18. Base de datos sobre beneficios y costos de ITS, liga electrónica www.benefitcost.its.dot.gov