



1er SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES VIALES

*INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES PARA
DEFINIR MEDIDAS DE SOLUCION EFECTIVAS*

San Fandila, Querétaro,
del 02 al 04 de Septiembre de 2015



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

COMITÉ ORGANIZADOR DEL SEMINARIO RED TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES VIALES

Coordinación General

Dr. Alberto Mendoza Díaz
M. en I. María Guadalupe Saucedo Rojas
M. en I. Nadia Gómez González
Coordinación de Seguridad y Operación de Transporte
Instituto Mexicano del Transporte

Grupo Operativo del Evento

Ing. Emilio F. Mayoral Grajeda
M. en I. Emilio Abarca Pérez
Dr. Jesús Manuel Chavarría Vega
M. en C. Ana Cecilia Cuevas Colunga
M. en I. José Luis Gutiérrez Hernández
M. en C. Verónica Josefina Soria Anguiano
M. en I.S.D. Noelia Villegas Villegas
M. en I. Jaime Guillermo Pérez Castro
M. en I. Marco Luis Dorado Pineda
M. en I. Gerardo Rios Quezada
Ing. Alfredo Molina Ortíz
Dr. Carlos Téllez Martínez

Alumnos

Nohemí Mojica Pérez
Ing. Citlali Janet Partida Huerta

Apoyo Administrativo

Yadira Hernández Botello



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

AUTORES

Red Temática de Investigación de Accidentes Viales

Dr. Alberto Mendoza Díaz
M. en I. María Guadalupe Saucedo Rojas
M. en I. Nadia Gómez González
Dra. Verónica Bunge Vivier
Dr. Antonio Mera Redondo
Mtro. Juan Martín Hernández Mota
D.I. Rafael Cal y Mayor Leach
M. en I. Emilio Abarca Pérez
M. en I. Jaime Guillermo Pérez Castro
Dr. Jesús Manuel Chavarría Vega
M. en I. Marco Luis Dorado Pineda
Ing. Marco Antonio Martínez Ocampo
Ing. Rafael Ortega Chavez
M. en I. Gerardo Hernández Betancourt
Ing. Emilio Mayoral Grajeda
M. en C. Ana Cecilia Cuevas Colunga
Ing. Emmanuel Muñoz García
Ing. Nubia Paola Rodríguez Rucobo
M. en I. José Luis Gutiérrez Hernández
M. en C. Verónica Josefina Soria Anguiano
M. en I.S.D. Noelia Villegas Villegas
M. en I. Gerardo Rios Quezada



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	5
PROGRAMA	9
CONFERENCIAS MAGISTRALES	13
Dra. Verónica Bunge Vivier	15
Dr. Antonio Mera Redondo	25
Mtro. Juan Martín Hernández Mota.....	69
D.I. Rafael Cal y Mayor Leach	79
SESIÓN DE CARTELES	83
El efecto de las dimensiones de los vehículos de carga en la Infraestructura Carretera	85
Análisis normativo de la conexión Dolly-Remolque en el Autotransporte Público Federal	97
Análisis sustitutos de accidentalidad aplicando microsimulación de tráfico ..	105
Motociclistas: Usuarios desprotegidos en México.....	113
Propuesta para el mejoramiento de la intersección Pie de la Cuesta - Tlálóc y Moctezuma para minimizar la accidentalidad de la zona	125
Rampas de frenado.....	143
Carretera 2+1 ¿Una solución para México?.....	153
Aplicación de la metodología iRAP en sitios de alta concentración de accidentes.....	171
Estudio de ingeniería de tránsito en un sitio de alto riesgo de la autopista México-Querétaro	185
Algunas herramientas para el levantamiento de datos de accidentes viales.....	197



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

El vehículo como factor de estudio en la investigación y reconstrucción de accidentes viales.....	209
Construcción de un modelo de red vial georreferenciado para la gestión de información de accidentes viales	227
Aspectos relevantes de seguridad vial.....	241



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

INTRODUCCIÓN

El transporte por carretera beneficia tanto a las naciones como a los individuos porque facilita el movimiento de bienes y personas; permite un mayor acceso a los empleos, los mercados económicos, la educación, la recreación y la atención sanitaria, lo cual, a su vez, incide positivamente en la salud de las poblaciones. El transporte por carretera puede involucrarse diariamente en accidentes de tránsito, los cuales son uno de los problemas más graves que actualmente enfrentan las sociedades modernas. En el 2013, la Organización Mundial de la Salud (OMS) reportó que cada año se pierden casi 1.24 millones de vidas a consecuencias de los accidentes de tránsito y entre 20 y 50 millones de personas sufren traumatismos no mortales. Las lesiones causadas por el tránsito son la octava causa mundial de muerte, y constituyen la principal causa de defunción entre los jóvenes de 15 a 29 años.

En México, durante 2013, fallecieron más de 16 mil personas por accidentes de tránsito. De acuerdo a la Organización Panamericana de la Salud (OPS) México ocupa el séptimo lugar a nivel mundial en muertes por accidentes de tránsito y a nivel nacional son la octava causa general de muerte, por encima de las enfermedades infecciosas y por debajo de las enfermedades crónico-degenerativas. Asimismo, los accidentes de tránsito son la primera causa de muerte en niños de cinco a nueve años de edad y la segunda causa de muerte entre los adolescentes y adultos jóvenes (10 a 29 años).

Teniendo conocimiento de la importancia de preservar la vida, los investigadores de distintas instituciones públicas, privadas y de organizaciones no gubernamentales deciden trabajar en conjunto para cumplir la misión de “Contribuir en el estudio técnico-científico de los accidentes viales y sus causas con la finalidad de propiciar la implementación de medidas estratégicas de seguridad vial para coadyuvar a proteger la vida, salud y bienes de la sociedad”, conformando para tal fin la Red Temática de Investigación de Accidentes Viales (RTIAV) que se encuentra financiada por el CONACYT e integrada por personal de experiencia y tecnología de vanguardia, buscando consolidarse como líder nacional y referente internacional en investigación, difusión, formación y administración óptima de la información para generar programas y políticas efectivas en seguridad vial.



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

Dentro de las actividades programadas en el plan de trabajo de dicha RTIAV se encuentra la organización del 1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales “Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”, mismo que se llevó a cabo los días 02 al 04 de Septiembre de 2015 en San Fandila, Querétaro.

El resultado principal del Seminario es la estructuración del Plan Estratégico de la Red Temática, el cual define sus estatutos de Misión y Visión, identifica los temas, los objetivos, la cartera de proyectos estratégicos de desarrollo tecnológico e innovación en la materia, así como la estrategia de internacionalización de la Red, todo ello con miras a mejorar la calidad de vida de los mexicanos.

Este Primer Seminario contó con la participación de más de 80 investigadores de distintas instituciones públicas, privadas y de organizaciones no gubernamentales entre las que se encuentran:

- ❖ Guardia Civil de Tráfico Española
- ❖ Policía Federal
- ❖ Instituto de Profesionalización de la PGJ Querétaro
- ❖ Consultores Profesionales Forenses de México S.C.
- ❖ Colegio de Abogados Litigantes de Querétaro
- ❖ Universidad Autónoma de Chihuahua
- ❖ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
- ❖ Universidad Autónoma de Nuevo León
- ❖ Universidad Autónoma de Querétaro
- ❖ Universidad Autónoma de Tamaulipas
- ❖ Universidad Autónoma del Estado de México
- ❖ Universidad Cuauhtémoc de Querétaro
- ❖ Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
- ❖ Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México
- ❖ Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas, Instituto Politécnico Nacional
- ❖ Ángeles Verdes, Secretaría de Turismo
- ❖ Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
- ❖ Instituto Nacional de Salud Pública
- ❖ 3M Ingeniería
- ❖ Asociación Mexicana de Empresas Señalizadoras e Instaladoras A.C.
- ❖ Autopistas del Grupo IDEAL



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

- ❖ Centro de Experimentación y Seguridad Vial México, CESVI
- ❖ Consultora de Procesos Seguridad, Ambiental y Vial, COPROSAV
- ❖ Dirección General de Ingeniería y Servicios, INECO
- ❖ Entorno Industrial, S.A. de C.V.
- ❖ Grupo Peñasco
- ❖ iRAP Latín América
- ❖ Movilidad y Desarrollo México, A.C
- ❖ Ryder de México S. de R.L. de C.V.
- ❖ Tecnosistemas y Peaje S.A. de C.V.
- ❖ Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos, CAPUFE
- ❖ Centros SCT
- ❖ Dirección General de Autotransporte Federal, SCT
- ❖ Dirección General de Conservación de Carreteras, SCT
- ❖ Dirección General de Protección y Medicina Preventiva en el Transporte, SCT
- ❖ Dirección General de Servicios Técnicos, SCT
- ❖ Instituto Mexicano del Transporte



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

PROGRAMA



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro



1^{er} SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES VIALES
INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES PARA DEFINIR MEDIDAS DE SOLUCIÓN EFECTIVAS”
 Del 02 al 04 de septiembre de 2015, San Fandila, Qro.

Programa General

JUEVES 3 DE SEPTIEMBRE	
8:30 – 9:00	Registro de participantes
9:00 – 9:30	Bienvenida e Inauguración del 1^{er} Seminario de Investigación de Accidentes Viales M. en I. y M. en C. José San Martín Romero , Director General del Instituto Mexicano del Transporte
9:30 – 10:00	La Importancia del Programa de Redes Temáticas de Investigación del CONACYT Ponente: Dra. Verónica Bunge Vivier , Directora de Redes Temáticas de Investigación de CONACYT
10:00 – 10:45	Metodología y Aplicaciones de la Investigación y Reconstrucción de Accidentes Viales en España Ponente: Dr. Antonio Mera Redondo , Capitán de la Guardia Civil Española en Reserva, Experto en Investigación y Reconstrucción de Accidentes Viales Moderador: Dr. Jesús Manuel Chavarría Vega , Instituto Mexicano del Transporte
10:45 – 10:55	Preguntas y respuestas
10:55 – 11:10	Receso
11:10 - 11:55	Retos y Necesidades de la Investigación y Reconstrucción de Accidentes Viales en México Ponente: Mtro. Juan Martín Hernández Mota , Especialista en Hechos de Tránsito y Criminalística Moderador: Dr. Alberto Mendoza Díaz , Responsable Técnico de la Red Temática de Investigación de Accidentes Viales (RTIAV)
11:55 – 12:05	Preguntas y respuestas
12:05 – 13:00	Visita a las Instalaciones del Instituto Mexicano del Transporte Ing. Roberto Aguerrebere Salido , Coordinador Operativo del Instituto Mexicano del Transporte
13:00 – 14:00	Comida
14:00 – 18:00	Sesión de Trabajo No. 1 para definir el Plan Estratégico de la RTIAV. Objetivo: Elaborar los estatutos de Misión y Visión, así como definir los principales objetivos estratégicos de investigación. Coordinador de la Actividad: Ing. Alfredo Molina Ortíz , Director Innovación y Desarrollo Regional ITESM Campus Guadalajara Seguimiento: M. I. Nadia Gómez González , Responsable Administrativo de la Red Temática de Investigación de Accidentes Viales



1^{er} SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES VIALES
INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES PARA DEFINIR MEDIDAS DE SOLUCION EFECTIVAS”
 Del 02 al 04 de septiembre de 2015, San Fandila, Qro.

Programa General

VIERNES 4 DE SEPTIEMBRE	
9:00 – 11:00	<p>Continuación Sesión de Trabajo No. 1 para definir el Plan Estratégico de la RTIAV. Objetivo: Elaborar los estatutos de Misión y Visión, así como definir los principales objetivos estratégicos de investigación.</p> <p>Coordinador de la Actividad: Ing. Alfredo Molina Ortíz, Director Innovación y Desarrollo Regional ITESM Campus Guadalajara</p> <p>Seguimiento: M. I. Nadia Gómez González, Responsable Administrativo de la Red Temática de Investigación de Accidentes Viales</p>
11:00 – 11:15	Receso
11:15 – 14:15	<p>Sesión de Trabajo No. 2 para definir el Plan Operativo de la RTIAV. Objetivo: Definir el plan de actividades de la RTIAV alineadas a los objetivos estratégicos definidos.</p> <p>Coordinador de la Actividad: Ing. Alfredo Molina Ortíz, Director Innovación y Desarrollo Regional ITESM Campus Guadalajara</p> <p>Seguimiento: M. I. Nadia Gómez González, Responsable Administrativo de la Red Temática de Investigación de Accidentes Viales</p>
14:15 – 14:30	<p>Clausura del 1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales</p> <p>Dr. Alberto Mendoza Díaz, Responsable Técnico de la RTIAV</p>
14:30	Comida de Clausura



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

CONFERENCIAS MAGISTRALES



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

Dra. Verónica Bunge Vivier

- ❖ Licenciada en Biología, con una Maestría en Agronomía por parte del Centro Nacional de Investigación en Regiones Cálidas (CNEARC) de Montpellier, Francia, y un Doctorado en Sociología otorgado por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- ❖ Durante 10 años trabajó en cuestiones de divulgación de la ciencia relacionadas con agricultura y alimentación.
- ❖ Desde hace 20 años trabaja en cuestiones ligadas a la planeación ambiental del territorio, particularmente en aspectos socioeconómicos con un enfoque multidisciplinario y sistémico.
- ❖ Su paso por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático incorporó en su perspectiva el manejo integral de cuencas y posteriormente se formó en el tema de Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático.
- ❖ Ha publicado más de 30 artículos en revistas y libros.
- ❖ Desde el año 2011 imparte una cátedra de Planeación Ambiental del Territorio para estudiantes de biología en la Facultad de Ciencias de la UNAM.
- ❖ Actualmente, como Directora de Redes Temáticas de CONACYT, su trabajo consiste en promover la colaboración científica para impulsar el desarrollo de la ciencia en México.



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

MÉXICO
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA



CONACYT
45 años

LA IMPORTANCIA DE LAS REDES TEMÁTICAS DE INVESTIGACIÓN CONACYT

PRIMER SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES VIALES

3 de septiembre de 2015

Verónica Bunge Vivier
vbunge@conacyt.mx

MÉXICO
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA



CONACYT
45 años

REDES



El beneficio de colaborar debe ser mayor que el costo de no hacerlo.

COLABORACIÓN



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

MÉXICO
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA



CONACYT
45 años



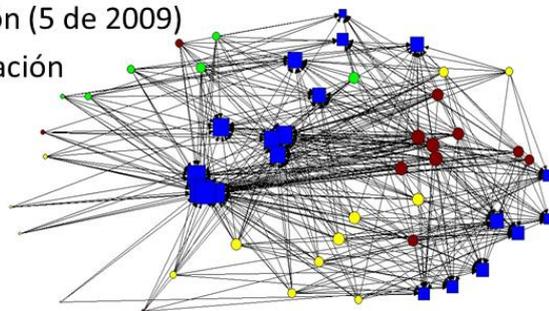
MÉXICO
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA



CONACYT
45 años

El apoyo a la creación de redes temáticas comenzó en 2009

- En 2009 se apoyaron 12 redes
- En 2015 se apoyaron 51 redes
 - 25 de consolidación (5 de 2009)
 - 26 de nueva formación





1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

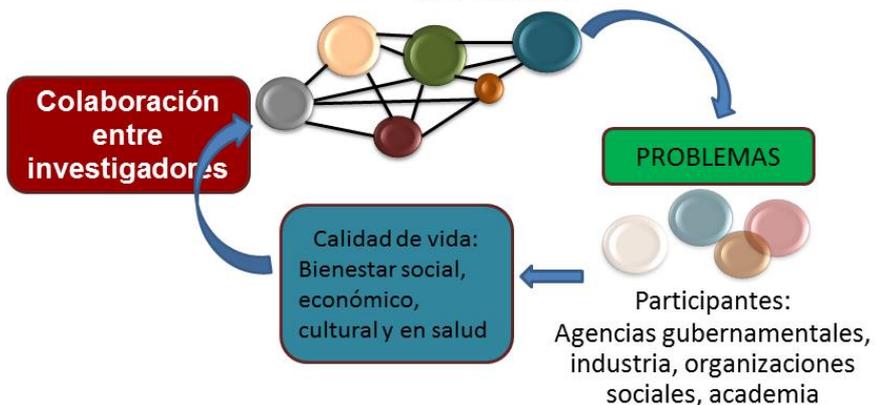
02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro



Año	Monto total apoyado	Redes Apoyadas	Instituciones Apoyadas
2009	119'336,770.10	12	NA
2010	79'999,998.84	8	NA
2012	54'965,250.00	30	18
2014	40'000,000.00	37	21
2015	150'000,000.00	51	30
TOTAL	444'302,018.94	138	69



Esquema funcional de Redes





1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

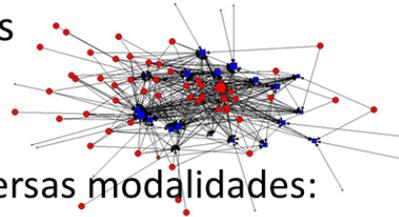
02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

MÉXICO
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA



CONACYT
45 años

¿Qué buscan las redes temáticas de investigación Conacyt?



La colaboración científica en diversas modalidades:

- Intercambio de experiencias y conocimientos a fin de resolver problemas específicos
- Involucrar y sumar instituciones, investigadores y diferentes actores en torno a un determinado problema
- Compartir infraestructura o facilitar el intercambio y formación de recursos humanos

ASIMETRÍAS A NIVEL DE PAÍS EN TÉRMINOS DE CAPACIDADES CIENTÍFICAS Y DE INNOVACIÓN





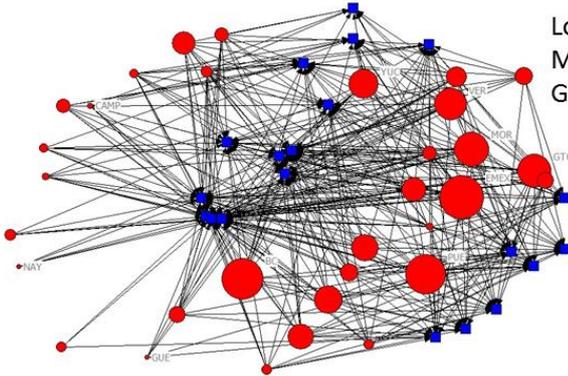
1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro



Investigadores que participan en redes por Estado



Los que más participan: Edo de México, Baja California, Morelos, Guanajuato, Veracruz y Yucatán

Los que menos participan en redes son: Nayarit, Guerrero y Campeche



RED DE ACCIDENTES VIALES



- Con mayor accidentes viales 2012
- Encima del promedio nacional
- Presencia de la red



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

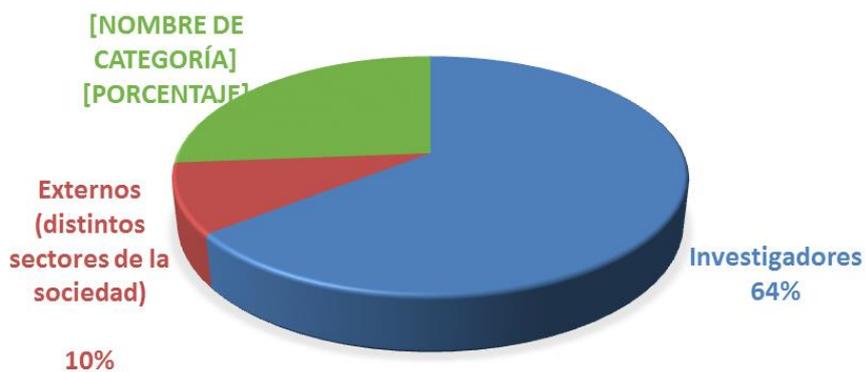
02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro



Área del PECiTI	Nº de Redes
Ambiente	7
Conocimiento del Universo	3
Desarrollo Sustentable	3
Desarrollo Tecnológico	16
Energía	5
Salud	9
Sociedad	8



DISTRIBUCIÓN DE LOS MIEMBROS





1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

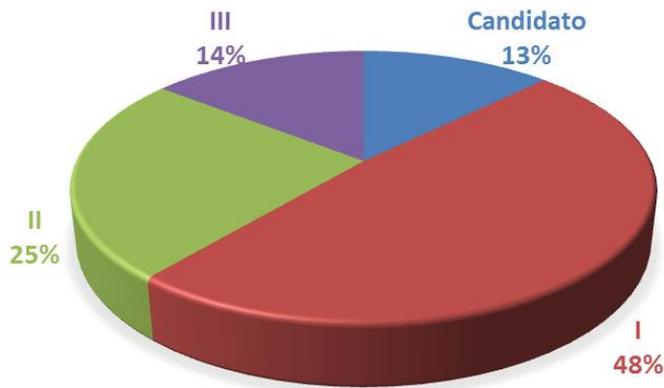
02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

MÉXICO
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA



CONACYT
45 años

35% de los miembros pertenecen al S.N.I.

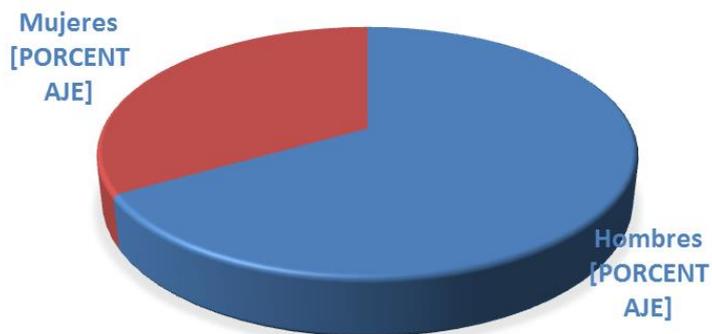


MÉXICO
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA



CONACYT
45 años

DISTRIBUCIÓN POR GÉNERO





1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

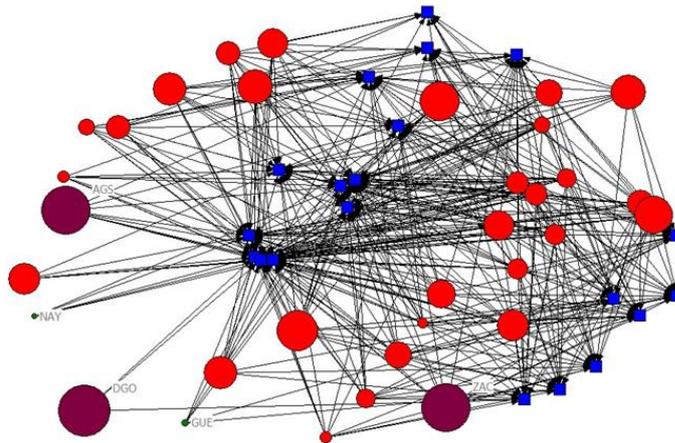
02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

MÉXICO
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA



CONACYT
45 años

Brecha de género con relación a participación en redes



MÉXICO
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA



CONACYT
45 años

RED DE ACCIDENTES VIALES

83 MIEMBROS



65 HOMBRES

18 MUJERES (22%)



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

MÉXICO
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA



¡Muchas gracias!

vbunge@conacyt.mx



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

Dr. Antonio Mera Redondo

- ❖ Policía Judicial por el Centro de Estudios Judiciales de Madrid, Oficial de la Guardia Civil por la Academia de Oficiales de la Guardia Civil La Escorial, Madrid, Licenciado en Derecho por la Universidad Nacional de Educación a Distancia con un Diplomado en Estudios Avanzados (DEA), Cursos de Doctorado en Tráfico y Seguridad Vial por la Universitat de Valencia y Doctor en Derecho por la Universitat Jaume I en Castellón de la Plana, España.
- ❖ Desde 1971 se ha desempeñado como Jefe de Unidades de Tráfico, Subsector y Destacamento; de Equipos de Atestados de Tráfico; Profesor de Investigación de Accidentes de Tráfico en la Escuela de Tráfico de Mérida (Badajoz); Jefe de Unidades Territoriales de la Guardia Civil, Compañía, Línea y Puesto (Seguridad Ciudadana).
- ❖ Desde 2013, ejerce de Jefe Coordinador de Seguridad de las Sedes Judiciales de la Provincia de Castellón, España.
- ❖ Se ha desempeñado como docente de diversas instituciones desde 1996, destacando como Profesor e Investigador-Reconstructor de Accidentes de Tráfico en la Escuela de Tráfico de la Guardia Civil; Profesor Externo en el Instituto Universitario de Tráfico y Seguridad Vial (INTRAS), de la Universidad de Valencia; Profesor Asociado en los estudios de Graduado en Seguridad y Ciencias Policiales (UJI).



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro



METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

CONSIDERACIONES GENERALES. PREMISAS

“Los accidentes de tráfico están originados por **EL HOMBRE mismo**”. (1)

“Principio: «**EL HOMBRE CONDUCE COMO VIVE**». (1) (2)

“Si bien se puede asegurar que **LA GRAN MAYORÍA DE LOS ACCIDENTES DE TRÁFICO SON EVITABLES**, es evidente que el público (**LOS CIUDADANOS**) tendrá que aumentar, considerablemente, su colaboración para que la lucha resulte eficaz”. (1)

“Aunque en un accidente dado pueda ser obvia la responsabilidad del conductor, tal vez su aparente falta de atención esté relacionada con **DEFICIENCIA DEL LUGAR mismo y se deba en parte a ellos**”. (1)

“**LAS CARRETERAS** fueron construidas principalmente para vehículos de tracción animal”. (1)

“**EL VEHÍCULO es un accesorio de los neumáticos**” (3).

(1). Norman, L.G. “Los accidentes de tráfico. Epidemiología y Prevención”. Cuadernos de Salud Pública núm. 12. Organización Mundial de la Salud. Ginebra, 1963.

(2) Los primeros que formularon el principio fueron Tillman y Hobbs. 1949.

(3). Fuente: Algunos fabricantes y montadores de neumáticos (autodenominados “neumatiqueros”).



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

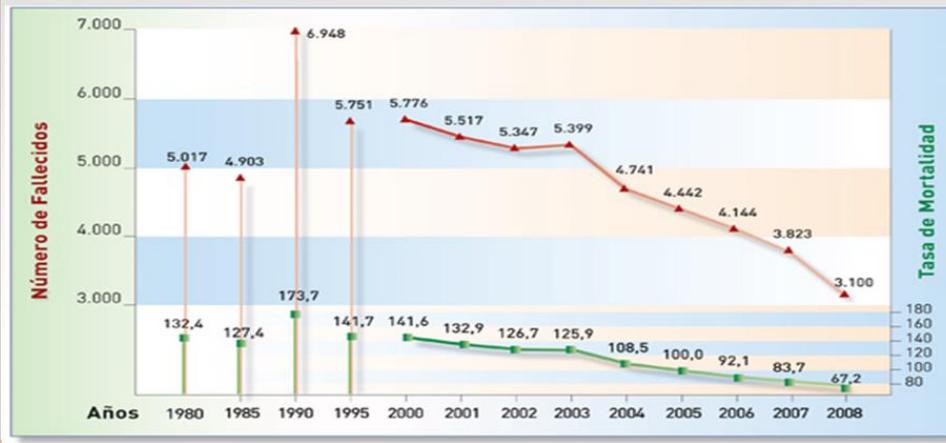
“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA ACCIDENTALIDAD EN ESPAÑA



METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA ACCIDENTALIDAD EN ESPAÑA

En el **ÚLTIMO QUINQUENIO**, y teniendo como referente el año 2001, se pasó, de los **2.714** fallecidos en el **AÑO 2009**, a los **1.680** del **AÑO 2013** (último año estadísticamente conocido).

Número de víctimas (carretera + zona urbana)

AÑOS	ACCIDENTES CON VÍCTIMAS	MUERTOS	HERIDOS GRAVES	HERIDOS LEVES
* 2001	100.393	5.517	26.566	123.033
* 2009	88.251	2.714	13.923	111.043
* 2010	85.503	2.478	11.995	108.350
* 2011	83.027	2.060	11.347	104.280
* 2012	83.115	1.903	10.444	105.446
* 2013	89.519	1.680	10.086	114.634



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA ACCIDENTALIDAD EN ESPAÑA

ESTADÍSTICAS de la **COMISIÓN EUROPEA**, con respecto de la **SEGURIDAD VIAL**, de los 28 países de la Unión y comparativa con otros países.

- **España es el cuarto país que más reduce, entre el 2001 y el 2010, el número de muertos en accidentes de tráfico (un 57%).**
- **España ha pasado de los 126 fallecidos por millón de habitantes, en el año 2003, a los 36 del año 2013, muy por debajo de la tasa europea que se sitúa en 52.**
- **España ascienda ya a la quinta posición –en orden decreciente del número de muertos– en el ranking europeo por tasa de víctimas mortales, por delante de países como Alemania, Irlanda, Francia, Italia, Portugal o Grecia, y sólo precedido por el mejor resultado de Suecia, Reino Unido, Dinamarca y Países Bajos.**
- **España ha presentado cifras inferiores a otros países con importantes niveles de desarrollo como Estados Unidos, Japón y Australia.**

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

ALGUNAS MEDIDAS IMPLEMENTADAS POR ESPAÑA Y SUS RESULTADOS

ENTRE LAS **MEDIDAS**, CABE SEÑALAR LAS SIGUIENTES: (1)

- **Puesta en marcha del PERMISO DE CONDUCIR POR PUNTOS.**
- **Implantación del SISTEMA DE RADARES** para el control de velocidad.
- **Creación de la FISCALÍA ESPECIAL** para los delitos contra la seguridad vial.
- **La MODIFICACIÓN DEL CÓDIGO PENAL.**
- **El AUMENTO DE LOS EFECTIVOS** que conforman la **SUPERVISIÓN POLICIAL** en vía interurbana.
- **Reforma del PROCEDIMIENTO ADMINISTRATIVO SANCIONADOR.**
- **Esfuerzo realizado en el ámbito de la FORMACIÓN E INFORMACIÓN.**

(1) Fuente: *Las principales cifras de la Siniestralidad Vial. España 2010.* Observatorio Nacional de Seguridad Vial, Dirección General de Tráfico.



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

FACTORES-CAUSA Y SU PARTICIPACIÓN PORCENTUAL EN LA ACCIDENTALIDAD

- ❖ **En primer lugar:** Diferentes clases de factores que aquí se proponen:
 - **FACTORES-CAUSA** (factores por los que se producen los accidentes), y que pueden ser:
 - ✓ **Operativos o de acción (CAUSA DIRECTA O INMEDIATA).**
 - ✓ **De estado o condición (CAUSA MEDIATA O REMOTA).**
 - **FACTORES-ELEMENTO:** el hombre, la vía con su entorno y el vehículo.
- ❖ **En segundo lugar:** Investigaciones para ver el peso diferencial que pueda tener en la accidentalidad los componentes del sistema de tráfico:
 - **“Proyecto REAGIR”,** desarrollado en Francia.
 - Estudios del **Transport Research Laboratory (TRL)** en Gran Bretaña.
 - En Estados Unidos, los realizados por la **National Highway Traffic Safety Administration** o el **Indiana Tri-Level Study**.

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

FACTORES-CAUSA Y SU PARTICIPACIÓN PORCENTUAL EN LA ACCIDENTALIDAD (Conti.)

- ❖ **En tercer lugar:** Siendo sus hallazgos coincidentes, es el de la **UNIVERSIDAD DE INDIANA** el que determinó que entre los factores causantes del accidente de tráfico, se distinguen en el siguiente porcentaje :
 - ✓ **El FACTOR-ELEMENTO HUMANO se encontraba implicado entre el 93 y 71% de los casos.**
 - ✓ **Los FACTORES-ELEMENTOS AMBIENTALES (vía y entorno) entre el 34 y el 12%.**
 - ✓ **Las causas debidas al VEHÍCULO entre el 13 y el 4,5%.”**
- ❖ **En cuarto lugar:** Evidentemente, **en un alto porcentaje de la casuística, concurren más de uno** (tanto singularmente considerados, como asociados, dos, o los tres, de los factores-elementos citados) de los factores elementos antes citados.



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

PRELIMINARES A TODAS LAS FASES DE LA INVESTIGACIÓN

❖ EL PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS

➤ **LA HIPÓTESIS** representa la primera fase indispensable del método y puede definirse como una proposición cuya verdad o validez no se cuestiona *ab initio*, en un primer momento, sino que permite iniciar una cadena de razonamientos que, desde luego y de manera indiscutible, posteriormente deben ser adecuadamente verificados, recordando que los hechos no deben adaptarse a una hipótesis, sino, al contrario, la hipótesis a los hechos.

➤ Es conveniente probar **PRIMERO LAS HIPÓTESIS MÁS SENCILLAS** (las que buscan el cómo, generalmente de contenido altamente objetivo), pues ello acelera y despeja el proceso y ayuda a probar **HIPÓTESIS MÁS COMPLEJAS**, como aquellas que investigan el porqué, en las que intervienen de forma preponderante la toma de decisiones del factor humano

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

PRELIMINARES A TODAS LAS FASES DE LA INVESTIGACIÓN

❖ NÚMERO DE HIPÓTESIS

➤ Buscaremos la forma o tipología del accidente (**EL CÓMO**). El número de hipótesis a plantear en este caso, en un número elevado de ocasiones va a ser, **UNA** (la primera) o **DOS** (segunda o tercera), de las siguientes:

1ª. Aquella directamente relacionada con un tipo determinado de la tipología del accidente (salida de vía, colisión frontal, colisión lateral, atropello a peatón, etc.).

2ª. De mantenerse dudas razonables al respecto, nos plantearemos un tipo de accidente distinto al inicialmente considerado, pero igualmente determinado y concreto dentro de la tipología.

3ª. Por último, de no encajar en un caso concreto de la tipología, lo encuadraremos en el apartado de **Otros** (simples o complejos), referido evidentemente a la clase o tipo de accidente indeterminado (incendio, explosiones, caída de usuario a la calzada, etc.).



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

PRELIMINARES A TODAS LAS FASES DE LA INVESTIGACIÓN

❖ CONCLUSIÓN AVANZADA SOBRE LAS HIPÓTESIS

Podemos definir a *la hipótesis planteada sobre "EL CÓMO"* se produjo el accidente, de la siguiente manera:

- ✓ Una hipótesis sencilla que busca la tipología en su forma más amplia.
- ✓ Que está basada en una información fundamentalmente objetiva, y de la que se tienen bastantes posibilidades de alcanzar el éxito en su verificación.
- ✓ Que constituye el escalón previo e imprescindible para iniciar, no antes, la actividad de planteamiento de *la hipótesis de "EL PORQUÉ"* se produjo el siniestro.

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN: INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN

1. LA INFORMACIÓN: RECOGIDA Y REGISTRO DE DATOS

La investigación de accidentes, engloba una serie de secuencias ordenadas que partiendo de la situación en la base del investigador, pasando por las *labores de campo* en el lugar de los hechos, consistentes fundamentalmente en *observar, recoger y registrar*, llegar a *analizar de forma exhaustiva los datos de un accidente* y finalizar con la *emisión de conclusiones que determinen las causas*; para que no se omita acto alguno de la investigación, se necesita de un *Protocolo de Intervención*, según el *esquema* que se va a desarrollar.



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN: INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN

1. LA INFORMACIÓN: RECOGIDA Y REGISTRO DE DATOS

A. ¿QUÉ DATOS SE DEBEN RECOGER?

¿Dónde? Se ha producido el accidente, es decir el lugar.

¿Cuándo? Hora, fecha, y condiciones ambientales.

¿Quién? Persona/s implicada/s en el accidente y su estado.

¿Qué? Vehículo, bien material o animal, y su titular.

¿Cómo?Cuál es el tipo o clase de accidente.

¿Por qué?Cuál/es es/son la/s causa/s concreta/s y precisa/s que lo ha motivado.

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN: INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN

1. LA INFORMACIÓN: RECOGIDA Y REGISTRO DE DATOS

B. ¿CÓMO SE PUEDEN OBTENER ESOS DATOS?

Para obtener esos datos, es imprescindible seguir un **PROTOCOLO** o forma ordenada y metódica para llevar a cabo la recogida de información.



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN: INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN

2. PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN

El investigador, ya se encuentre en la base o en otro lugar, habrá de tener en cuenta, de entrada, las siguientes premisas:

A. Al iniciar su actividad. Habrá de tener el vehículo perfectamente equipado, tanto en orden de marcha de éste, como del material necesario para el desempeño de su actividad.

B. Al recibir la noticia del suceso. Tendrá que decidir las acciones a realizar y el orden de llevarlas a la práctica, conociendo para ello las normas de actuación establecidas.

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN: INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN

2. PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN

A. LABORES DE CAMPO

Desde el mismo momento en que el Investigador se aproxima al escenario.

a). EN LA COMPARECENCIA EN EL LUGAR DE LOS HECHOS

Llevará a cabo, con la suficiente flexibilidad, las siguientes acciones:

1. Adoptar precauciones de seguridad. Para ello analizará la situación y sus peligros potenciales, teniendo como objetivo:

- Que el accidente no adquiera mayores proporciones.
- Que no se produzcan nuevos siniestros.



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN: INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN

2. PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN

A. LABORES DE CAMPO

a). EN LA COMPARECENCIA EN EL LUGAR DE LOS HECHOS (Conti.)

2. Identificar a los agentes (de la autoridad) allí presentes, así como al personal de asistencia e intervención en carretera.

3. Organizar la colaboración espontánea de personas. Previo análisis, decidirá su procedencia y en caso positivo recabará la precisa, distribuyendo las tareas a realizar.

4. Solicitar (si no se ha hecho ya) los servicios de urgencia necesarios y organizar su intervención, con la premisa de la actuación bajo los principios de coordinación y competencia.

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN: INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN

2. PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN

A. LABORES DE CAMPO

a). EN LA COMPARECENCIA EN EL LUGAR DE LOS HECHOS (Conti.)

5. Custodiar personas accidentadas (en especial menores, ancianos y discapacitados) y/o animales.

6. Proteger los bienes de los implicados en el hecho. Inventariando los bienes susceptibles de desaparición y/o entregarlos bajo recibo.

7. Limpiar la calzada de restos del accidente. Después del registro de huellas y vestigios.

8. Ayudar a que los afectados tomen datos, cuando proceda, y a cumplimentar impresos.



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN: INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN

2. PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN

A. LABORES DE CAMPO

b). LAS HIPÓTESIS EN LA INVESTIGACIÓN DE CAMPO

9. Plantearlas en función de las características del tramo de vía escenario del accidente (urbana, interurbana, cruce, curva, recta, etc.).

10. Examinar las trayectorias pre y postcolisión. Localizar e interpretar correctamente los vestigios que se observen.

11. Observar los daños. Una de las fuentes más determinantes a la hora de plantear una hipótesis sobre la tipología.

12. Analizar las manifestaciones-declaraciones de conductores, peatones, usuarios, testigos y otros, para identificar los hechos.

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN: INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN

2. PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN

A. LABORES DE CAMPO

c). JUSTIFICACIÓN DE HIPÓTESIS EN LA INVESTIGACIÓN DE CAMPO

13. Por la confrontación del tipo de accidente averiguado y el tramo de vía escenario de los hechos, como pueden ser elementos rígidos del entorno.

14. Por la observación-confrontación entre unidades de tráfico y/o elementos análogos.

15. Por las manifestaciones de conductores, testigos y otros participantes.



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN: INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN

2. PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN

A. LABORES DE CAMPO

d). EL FACTOR-ELEMENTO HUMANO

16. Localizar y registrar las posiciones finales (PF) de personas así como de los efectos personales.

17. Localizar e identificar a todos los implicados en el suceso, y también a los testigos del mismo.

18. Práctica de pruebas de alcoholemia y drogas.

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN: INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN

2. PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN

A. LABORES DE CAMPO

e). EL FACTOR-ELEMENTO VEHÍCULO

19. Determinar la posición final (PF) de vehículos, y en ocasiones, objetos de cierto peso o volumen.

20. Comprobar los órganos mecánicos de los vehículos.

21. Estado y características de los neumáticos de los vehículos.



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN: INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN

2. PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN

A. LABORES DE CAMPO

e). EL FACTOR-ELEMENTO VEHÍCULO (Conti.)

22. Comprobar el estado y funcionamiento del sistema de alumbrado y señalización de los vehículos.

23. Verificar la instalación del tacógrafo y recogida de datos.

24. Descripción de los daños producidos, en general y en algunos detalles.

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN: INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN

2. PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN

A. LABORES DE CAMPO

f). EL FACTOR-ELEMENTO VÍA Y SUS ATRIBUTOS

25. Identificar e interpretar marcas, huellas y vestigios.

26. Determinar el punto de colisión del suceso (PC).

27. Anotar la señalización que presenta el tramo escenario del accidente.

28. Averiguar y registrar las condiciones atmosféricas y ambientales de la vía en el momento de actualizarse el siniestro.

29. Buscar el coeficiente de fricción del pavimento.



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN: INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN

2. PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN

A. LABORES DE CAMPO

f). EL FACTOR-ELEMENTO VÍA Y SUS ATRIBUTOS (Conti.)

30. Determinar la posición de percepción posible (PPP).

31. Determinar la posición de percepción real (PPR).

32. Medir pendiente, rampa, peralte y radio de las curvas.

33. Confección del boceto del lugar del suceso.

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN: INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN

2. PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN

A. LABORES DE CAMPO

g). VERIFICACIÓN SISTEMÁTICA. PRÁCTICA DE SENCILLAS PERICIAS

34. Obtener la opinión médico-forense sobre las lesiones de las personas.

35. Realización práctica de pruebas. Comprobaciones sencillas de los mecanismos de frenado, dirección y suspensión; con medios técnicos o con el propio vehículo u otro de similares características.

36. Consultar a mecánicos o peritos acerca de algunos de los daños del vehículo (dirección, suspensión, frenado, neumáticos).



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN: INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN

2. PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN

B. LABORES DE GABINETE

h). INVESTIGACIÓN-DEDUCCIÓN TÉCNICA

37. Calcular el centro de gravedad de los vehículos.
38. Cálculo de velocidades: inicial, pre-impacto, post-impacto, límite en curva y límite al vuelco.
39. Confeción del croquis del lugar del suceso.
40. Confeción del Informe Fotográfico.

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN: INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN

2. PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN

B. LABORES DE GABINETE

i). RECONSTRUCCIÓN DEL ACCIDENTE

Es decir, la reposición de cada factor-elemento que intervino en él, para cada momento y lugar (**POSICIÓN**, en la TEA), principalmente antes, durante y después de la colisión.

41. Determinar la posición de las unidades de tráfico y elementos análogos al impacto. Reconstruir el “itinere”, posición a posición.
42. Reconstruir el hecho o alguna de sus circunstancias. Aislar todas las circunstancias del hecho para reconstruirlas, desarrollando hipótesis sobre el cómo se produjo el AT.



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN: INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN

2. PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN

B. LABORES DE GABINETE

j). LAS HIPÓTESIS EN LA INVESTIGACIÓN DE GABINETE

43. Verificar hipótesis sobre el cómo se produjo el accidente.

44. Considerar las nuevas hipótesis que puedan surgir de la puesta en práctica de cálculos físico-matemáticos o programas informáticos de reconstrucción. En el gabinete, se inician los trabajos de análisis de la información y se aplican **cálculos físico-matemáticos** y nuevas tecnologías (**Programas Informáticos**), fruto de las cuales pueden surgir nuevos planteamientos y por tanto nuevas hipótesis, a verificar, tanto en **el cómo**, como también, ahora y no antes, en las que buscan **el porqué**.

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN: INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN

2. PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN

B. LABORES DE GABINETE

k). JUSTIFICACIÓN DE LAS HIPÓTESIS EN LA INVESTIGACIÓN DE GABINETE

Además del testimonio de implicados y testigos,

45. Mediante el resultado de cálculos físico-matemáticos.

46. Fundamentado en el empleo de Programas Informáticos de Reconstrucción de Accidentes y sus resultados.

47. Considerando las conclusiones de informes periciales practicados.



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN: INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN

2. PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN

B. LABORES DE GABINETE

l). CAUSAS DEL ACCIDENTE

48. *Verificar hipótesis sobre el porqué se produjo el accidente.*

49. *Detectar errores o FALLOS HUMANOS e identificarlos con factores-causa operativos o de acción (causa directa o inmediata), así como los referidos al estado o condición del factor-elemento humano (causa mediata o remota).*

50. *Detectar FALLOS EN LOS MEDIOS (vía y vehículo) e identificarlos con factores-causa de estado o condición -ATRIBUTOS- (causa mediata o remota).*

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho

PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN: INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN

2. PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN

B. LABORES DE GABINETE

m). CONFECCIÓN DE DOCUMENTOS

Todo lo investigado, todo lo analizado, todo lo descubierto, si no se plasma en documentos que sirvan para perpetuar y trasladar a otras personas el trabajo desarrollado y sus resultados, no existirá en el mundo de los justos y por tanto, se habrá perdido.

Para fijar y de algún modo perpetuar la inmensa e importante labor desarrollada, hay trasladar los resultados (en la medida que a cada uno corresponda, según su Autoridad y Potestad), a jueces y tribunales, fiscales, aseguradoras, implicados, administración, organismos especializados, etc., y para ello se constituirán en **INFORMES**.



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

*Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho*

MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN

METODOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES EN ESPAÑA

*Por Antonio Mera Redondo
Doctor en Derecho
Capitán de la Guardia Civil de España, en Reserva*

1. CONSIDERACIONES GENERALES

1.1. PREMISAS¹

*“Los accidentes de tráfico están originados por **EL HOMBRE** mismo”.*

“Aunque en un accidente dado pueda ser obvia la responsabilidad del conductor, tal vez su aparente falta de atención esté relacionada con deficiencia del lugar mismo y se deba en parte a ellos”.

“El principio de que «el hombre conduce como vive» fue primeramente formulado por Tillman y Hobbs (1949)”.

*“Si bien se puede asegurar que la gran mayoría de los accidentes de tráfico son evitables, es evidente que el público (**LOS CIUDADANOS**) tendrá que aumentar, considerablemente, su colaboración para que la lucha resulte eficaz”.*

*“**LAS CARRETERAS** fueron construidas principalmente para vehículos de tracción animal”.*

*“**EL VEHÍCULO** es un accesorio de los neumáticos”².*

1.2. BREVE Y RECIENTE EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA ACCIDENTALIDAD EN ESPAÑA. DE DONDE PARTÍAMOS Y DONDE ESTAMOS

Empecemos inicialmente con los datos proporcionados por el período temporal que comprende desde el año 1980, hasta el año 2008, ambos inclusive, si bien inicialmente son datos por años que cumplen quinquenios, y a partir del año 2000 el estudio estadístico está reflejado anualmente.

¹ Norman, L.G. “Los accidentes de tráfico. Epidemiología y Prevención”. Cuadernos de Salud Pública núm. 12. Organización Mundial de la Salud. Ginebra, 1963.

² Fuente: Algunos fabricantes y montadores de neumáticos (autodenominados “neumatiqueros”).

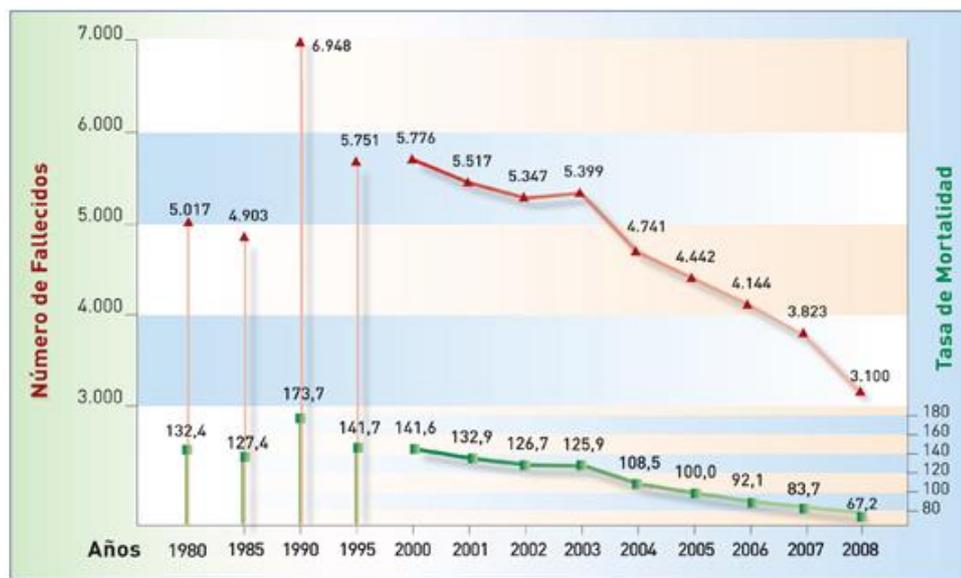


Gráfico 1. Número de fallecidos por millón de habitantes y tasa de mortalidad por accidentes de tráfico vial (carretera+zona urbana) en España: 1980-2008. Fuente: Dirección General de Tráfico.

En el último quinquenio, y teniendo como referente el año 2001, se pasó, de los 2.714 fallecidos en el año 2009, a los 1.680 del año 2013 (último año estadísticamente conocido).

Número de víctimas (carretera + zona urbana)				
AÑOS	ACCIDENTES CON VÍCTIMAS	MUERTOS	HERIDOS GRAVES	HERIDOS LEVES
* 2001	100.393	5.517	26.566	123.033
* 2009	88.251	2.714	13.923	111.043
* 2010	85.503	2.478	11.995	108.350
* 2011	83.027	2.060	11.347	104.280
* 2012	83.115	1.903	10.444	105.446
* 2013	89.519	1.680	10.086	114.634

Gráfico 2. Fuente: Dirección General de Tráfico (varios años)³.

Por lo que respecta a nuestro entorno, la Comisión Europea recoge las estadísticas de seguridad vial de los 28 países de la Unión. Al comparar los datos de 2001 a 2010, **España es el cuarto país que más reduce el número de muertos en accidentes de tráfico (un 57%), por debajo sólo de los países bálticos (Estonia, Letonia y Lituania)**, que en el mismo periodo han bajado la mortalidad vial entre un 61% y un 58%.

Si comparamos las muertes en accidentes de tráfico en relación al total de la población, **España alcanza los 41 fallecidos por cada millón de habitantes en 2012, por**

³Fuente: Dirección General de Tráfico. Informe: “Las Principales Cifras de la Siniestralidad Vial. España 2013”. Madrid: 26 de junio de 2014. Del Informe de 2012, el cómputo de muertos se realiza a 30 días a partir de 1993, inclusive, si bien, a partir de 2011 se utiliza una nueva metodología para el cálculo de fallecidos a 30 días.

debajo de la media de la Unión Europea, que se sitúa en 56. No obstante, todavía estamos lejos de los países con menor siniestralidad del continente en 2012, que son Reino Unido (28 muertes en accidente por cada millón de habitantes en 2012), Suecia y Dinamarca (30).

1.3. ALGUNAS MEDIDAS IMPLEMENTADAS POR ESPAÑA Y SUS RESULTADOS

Entre las medidas que se han adoptado en España, cabe señalar, entre otras, la puesta en marcha del **PERMISO DE CONDUCIR POR PUNTOS**, la implantación del **SISTEMA DE RADARES** para el control de velocidad, la creación de la **FISCALÍA ESPECIAL** para los delitos contra la seguridad vial, la **MODIFICACIÓN DEL CÓDIGO PENAL**, el **AUMENTO DE LOS EFECTIVOS** que conforman la **SUPERVISIÓN POLICIAL** en vía interurbana, la reciente reforma del **PROCEDIMIENTO ADMINISTRATIVO SANCIONADOR**, y el esfuerzo realizado en el ámbito de la **FORMACIÓN E INFORMACIÓN**⁴.

Es significativo en este sentido, el **PLAN ESTRATÉGICO DE SEGURIDAD VIAL 2005-2008**, que centró los esfuerzos en los elementos básicos y fundamentales de la seguridad vial, como *el alcohol y la conducción*, el uso del *cinturón de seguridad*, del *casco y de los sistemas de retención infantil*, *el control de la velocidad*, las *distracciones* o *los reincidentes*, o a través del *Permiso de Conducir por Puntos*. La consecuencia directa de estos compromisos asumidos por España se ha visto reflejada en la histórica reducción de las cifras de siniestralidad.

En España en la década 2001-2010, se cumplió con el objetivo de reducción al 50% fijada en 2001 por la Unión Europea. Desde 2001 la estadística arroja una relevante disminución de los fallecidos y heridos graves. *Se ha pasado, de 5.517 muertos, 26.566 heridos graves y 123.033 heridos leves, en 2001, a 1.680 muertos, 10.086 heridos graves, y 114.634 heridos leves, respectivamente de 2013*. Pese a todo, el número de víctimas todavía es demasiado elevado, por lo que es necesario continuar con los esfuerzos en materia de prevención.

Igualmente, y con respecto al **CÓMPUTO EUROPEO DE MUERTOS POR MILLÓN DE HABITANTES** (uno de los indicadores utilizado en la Unión Europea), *se ha pasado en España de los 126 en el año 2003 a los 36 del año 2013, muy por debajo de la tasa europea que se sitúa en 52*. Esta reducción de las víctimas mortales hace que España *ascienda ya a la quinta posición –en orden decreciente del número de muertos– en el ranking europeo por tasa de víctimas mortales, por delante de países como Alemania, Irlanda, Francia, Italia, Portugal o Grecia, y sólo precedido por el mejor resultado de Suecia, Reino Unido, Dinamarca y Países Bajos. Así mismo, España también ha presentado cifras inferiores a otros países con importantes niveles de desarrollo como Estados Unidos, Japón y Australia*⁵.

⁴ Fuente: *Las principales cifras de la Siniestralidad Vial. España 2010*. Observatorio Nacional de Seguridad Vial. Dirección General de Tráfico.

⁵ Fuente: Dirección General de Tráfico. Informe: “*Las Principales Cifras de la Siniestralidad Vial. España 2013*”. Madrid: 26 de junio de 2014.

2. FACTORES-CAUSA Y SU PARTICIPACIÓN PORCENTUAL EN LA ACCIDENTALIDAD

Para evitar confusiones al lector, es necesario aclarar y distinguir las diferentes *clases de factores* de los que usa esta literatura. Aquí se propone la siguiente denominación: por un lado **FACTORES-CAUSA** (factores por los que se producen los accidentes); estos pueden ser, tanto *operativos o de acción*, como *de estado o condición*. Igualmente utilizaremos la denominación de **FACTORES-ELEMENTO**, para referirnos a los elementos que, como mínimo, han de intervenir en un siniestro, para que éste reciba la denominación de accidente de tráfico, y que no son otros que: *el hombre, la vía con su entorno y el vehículo*.

Aunque los accidentes viales pueden deberse tanto a los *factores-causa* como a los *factores-elementos*, es en este último caso, y concretamente el factor-elemento humano, el que según las estadísticas y las investigaciones parece más importante (MONTORO GONZÁLEZ et al., OMS)⁶⁻⁷.

Se han realizado numerosas investigaciones para ver el peso diferencial que pueda tener en la accidentalidad cada uno de los factores-elementos componentes del sistema de tráfico. En este sentido, cabe destacar el *proyecto REAGIR*, desarrollado en Francia durante muchos años y en el que se han estudiado a fondo miles de accidentes; los estudios llevados a cabo por el *Transport Research Laboratory (TRL)* en Gran Bretaña; o en Estados Unidos, los realizados por la *National Highway Traffic Safety Administration* o el *Indiana Tri-Level Study*, una investigación llevada a cabo durante más de cinco años sobre unos cinco mil accidentes de circulación de todo tipo. Estos últimos estudios realizados en EEUU están considerados entre los más importantes y completos del mundo, desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo. Sus hallazgos son prácticamente coincidentes. En concreto, en el realizado por la Universidad de Indiana descubrieron que entre los factores causantes del accidente de tráfico,

- *El factor-elemento humano se encontraba implicado entre el 93 y 71% de los casos;*
- *Los factores-elementos ambientales (vía y entorno) entre el 34 y el 12%.*
- *Las causas debidas al vehículo entre el 13 y el 4,5%.” (Montoro et al. (2000)⁸.*

Evidentemente, en un alto porcentaje de la casuística, concurren más de uno (tanto singularmente considerados, como asociados) de los factores elementos antes citados.

⁶ Montoro, L. Alonso, F.; Esteban, C. y Toledo, F. (2000). “Manual de Seguridad Vial: El factor humano”. 1ª Edición. Barcelona: Editorial Ariel, S.A.

⁷ OMS (2009) Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial. Ginebra, Organización Mundial de la Salud.
www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/report/es/index.html
www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2009

⁸ Montoro, L.; Alonso, F.; Esteban, C. y Toledo, F. (2000). Manual de Seguridad Vial: El factor humano. Ed. Ariel Intras.

3. **TEORÍAS COMPRENSIVAS DEL ACCIDENTE Y SU INVESTIGACIÓN. EVOLUCIÓN DEL ACCIDENTE. CAUSA TÉCNICA. LAS HIPÓTESIS**

3.1. TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN DEL ACCIDENTE

En España, el primero que expuso, amplió y desarrolló la teoría de la evolución del accidente⁹, fue el Magistrado MIGUEL LÓPEZ-MUÑIZ GOÑI¹⁰. Su visión de esta teoría, superó en amplitud a la de BAKER¹¹, al considerar el espacio y el tiempo comprendido entre el punto de conflicto y la posición final (punto y posición), si bien, a mi modo de ver, este importante desarrollo inicial debe ser replanteado, como a continuación tendremos ocasión de comprobar.

3.1.1. LA CADENA DE SUCESOS

En este punto, para facilitar y enmarcar la comprensión de lo que se expondrá posteriormente, es necesario recordar la definición de *unidad de tráfico* (BORREL VIVES/ALGABA GARCÍA/MARTÍNEZ-RAPOSO PIEDRAFITA)¹², que este autor acepta y defiende y que, según la cual, la *unidad de tráfico* es, “*Toda persona que haga uso de la vía pública con o sin vehículo, cualquiera que sea éste*”; establecido tal principio general y consecuente con él se colige, como primera conclusión, que, “*no puede haber accidente de tráfico en el que al menos, no participe directa o indirectamente una persona*”.

Igualmente, es necesario explicar, qué ha de entenderse por *elementos análogos*, y ello fundamentalmente a los efectos de estudios casuísticos y de representación gráfica en la reconstrucción de accidentes, concretamente en el *croquis* o *gráficos*. Es decir, se ha de entender que un *elemento análogo*, puede ser, “*cualquier animal, artefacto u objeto en movimiento, que interfiera la normal circulación rodada en las calzadas y por tanto llegue a interactuar con los demás factores-elementos que intervienen en el accidente*”. Evidentemente, con respecto a estos elementos se ha de considerar, al igual que si de una *unidad de tráfico* se tratara, su *origen*, su *trayectoria*, la *posición de conflicto* y la *posición final*.

Por otro lado, se considera oportuno tener en cuenta en este punto la *cadena de sucesos* de BAKER. Este maestro decía, que “*normalmente, un suceso conduce a otro*”. Algunos de estos hechos o “*eslabones de la cadena de sucesos*” ocurren en todos los accidentes, otros de ellos suceden raramente. No obstante, su estudio es conveniente realizarlo conjuntamente. De dicha cadena, por su interés práctico y sin ánimo de ser exhaustivo

⁹ Campón Domínguez, J.A. (2002). “*La Evolución del Accidente*”. Cuadernos de la Guardia Civil: Revista de Seguridad Pública. 2ª Época. Núm. XXVI. Madrid. Pág. 131 y ss.

¹⁰ López-Muñiz Goñi, M. (1964). *Derecho y Técnica de la circulación*. Madrid: Editorial Gesta, RD Judicial. Tomo I. págs. 153 y ss.

¹¹ Baker, J. Stanard, y otros. (1953). “*A.I. Manual*”. De la Northwestern University Traffic Institute. Evaston (Illinois). Baker, J. Stanard, y otros. (1957). “*Traffic Accidents Investigator’s Manual for Police*”. Traffic Institute of Northwestern University. Evaston (Illinois). Baker, J. Stanard. (1975). “*The Traffic Accidents Investigation Manual*”. Northwestern University Traffic Institute. Evaston (Illinois).

¹² Borrel Vives, J., Algaba García, P. y Martínez-Raposo Piedrafita, J. B. (1991). *Investigación de accidentes de tráfico* (pág. 37). Madrid: Academia de Tráfico de la Guardia Civil y Dirección General de Tráfico del Ministerio del Interior. 1991.

consideramos importantes, los siguientes eslabones por su relación con los objetivos de esta exposición:

- a. **Preparación.** Como primer eslabón de la *cadena de sucesos de Baker*, se encuentra la *actitud y aptitud, tanto personal como material, antes de iniciar el viaje*; desde el descanso previo, revisión de los elementos mecánicos y de seguridad del vehículo, hasta la elección del itinerario, así como de las modificaciones producidas en el viaje (*preparación y estrategia*).
- b. **Percepción del peligro.** Iniciado el viaje, desde el primer momento hay que estar en condiciones de percibir el peligro, es decir, ver, oír, presentir o comprender la situación imprevista o inesperada que pudiera tomarse como indicio razonable de que está a punto de producirse un accidente (*identificar el peligro*).
- c. **La invasión.** Ocurrida la situación imprevista o inesperada de la posibilidad de que se produzca un accidente, *la invasión*, sin duda el eslabón o situación más peligrosa, y la que con mayor frecuencia se actualiza, consiste en el acto de ocupar el espacio de calzada destinado (en ese momento) a otra *unidad de tráfico* que goza de preferencia. *La invasión* la puede realizar, tanto el vehículo como el peatón, cuando:
 - ✓ El vehículo cruza la línea de separación de carriles, y entra en otro carril del mismo sentido.
 - ✓ El vehículo entra en el carril de sentido contrario.
 - ✓ El vehículo entra en la calzada de sentido contrario (salto de calzada), en una vía desdoblada (dos calzadas con circulación en sentidos opuestos).
 - ✓ El vehículo cruza un paso de peatones, si estos tienen preferencia (por: 1º, señalización del Agente; 2º, señalización circunstancial que modifique el régimen normal de utilización de la vía; 3º, semáforos; 4º, vertical; y 5º, marcas viales), pues se ocupa la parte de calzada destinada a ser utilizada por éstos, de forma preferente.
 - ✓ El peatón cruza una calzada, por un paso no habilitado para ello, o aún estándolo, no tiene la preferencia en ese momento (por señalización), pues se produce la ocupación por éste de la calzada destinada a los vehículos.
- d. **La decisión.** Durante el viaje, es muy importante la “*reflexión*” que realiza el operador humano (conductor o peatón), para decidir qué acción evasiva llevar a cabo, para soslayar el peligro (*toma de decisión*).
- e. **Estrategia.** Se puede definir, como *toda acción ejecutada por una unidad de tráfico, mientras está en movimiento, que hace aumentar o disminuir la probabilidad de éxito de una maniobra evasiva, caso de presentarse la necesidad de ejecutarla ante una situación de peligro*.
- f. **La acción o maniobra evasiva.** Tomada la decisión de hacer algo para evitar el accidente, hay una primera acción o maniobra realizada por una *unidad de tráfico*, para eludir una colisión o evitar un peligro (*táctica evasiva*). Es la *reacción* del conductor o peatón a partir de su percepción del peligro y constituye el término de su

tiempo de reacción.

- g. *Posición clave.*** Dentro de la secuencia de producción de un accidente de tráfico, es la “*Posición*” a partir de la cual el único y posible resultado positivo de la *acción evasiva* será conseguir minimizar las consecuencias del accidente.
- h. *Contacto inicial.*** Es el primer contacto accidental de una *unidad de tráfico* en movimiento con *otra* o con un *elemento análogo* u objeto físico contundente.
- i. *Máximo enganche.*** Es el contacto o solape máximo en una colisión entre dos unidades de tráfico.
- j. *Desenganche.*** Separación de la *unidad de tráfico* en movimiento, de la otra, pudiendo estar ésta, también en movimiento (colisión) o estática (choque); el desenganche, también lo puede ser, de un elemento análogo (colisión) u objeto físico contundente con el que chocó.
- k. *Posición final.*** Es el “*punto*” de reposo de las *unidades de tráfico* que intervinieron en el evento.

3.1.2. LA POSICIÓN

Dentro del modelo explicativo de la *Teoría de la Evolución del Accidente*, la “*Posición*” nos planteará desde un punto de vista teórico, el desarrollo secuencial que se produce en la inmensa mayoría de los accidentes, independientemente de que en ciertos casos, algunas de estas secuencias se solapen entre sí hasta dar la sensación práctica de que no se han producido en un accidente en concreto, y no olvidando que en otro tipo de accidentes, los menos, raramente se produzca alguna de ellas.

El accidente, a pesar de su rapidez, no se produce de una manera instantánea sino que sufre una evolución que se desarrolla en *el tiempo* y en *el espacio*.

- a. *El tiempo.*** Espacio temporal durante el cual se lleva a cabo el *desarrollo del accidente*, ha de ser reconstruido *secuencialmente* a base de, “*momentos*” en los que las personas que intervienen en el accidente, *han debido de obrar de una manera determinada*; será labor del investigador averiguar si lo han hecho o no, y si lo han hecho, de qué manera o forma.

En el *tiempo*, o *momento*, se ha de considerar siempre la primera de las siguientes proposiciones, y circunstancialmente y además, una de las otras:

1. *Qué acción debió hacer.*
2. *Qué acción realizó realmente y la justificación de ésta.*
3. *Razón por la que no realizó acción alguna (en su caso).*

- b. *El espacio.*** Es el tramo de vía en el que *se desarrolla el accidente*. En este espacio, para facilitar el estudio y comprensión de la teoría que se describe, se ubicarán y se delimitarán determinados lugares, como, “*posiciones*”, “*fases*” y “*áreas*”, en las que

los hechos se producen y, dentro de dichos lugares, determinados “*puntos*”, es decir el lugar físico espacial singular *donde situar acciones concretas*.

En el “*punto*”, se ha de investigar siempre la *acción* –hecho objetivo, generalmente plasmado o representado por huellas o vestigios–, que se ha realizado de una forma concreta.

- c. **La Posición**¹³. Como se ha citado a pié de página, “*la posición*” es el conjunto de un “*momento*”, es decir, *tiempo* en el que el *hombre* (factor-elemento humano) ha debido obrar de una manera determinada (habiéndolo hecho, o no), y un “*punto*”, *espacio físico o lugar* donde situar acciones concretas.

La *posición* supone pues, la forma genuina de analizar esa conjunción *espacio-temporal*, en la que se deben relacionar los hechos objetivos plasmados en el *punto* –huellas y vestigios–, con los hechos subjetivos que se debieron hacer en un *momento* determinado cuando se encontraba la unidad de tráfico sobre dicho lugar; ello será siempre así, si se hizo lo que se debía hacer, pero puede suceder que no se hiciera lo que se debía (acción o maniobra correcta), o simplemente, que no se hiciera ninguna, cuestión que también será objeto de investigación, con independencia del estudio de la fundamental *táctica evasiva* llevada a cabo, en el primer caso.

La unión de varias posiciones dará lugar a una “*fase*” del accidente. Varias fases forman un “*área*” y la unión de todas ellas, la “*zona*” del accidente.

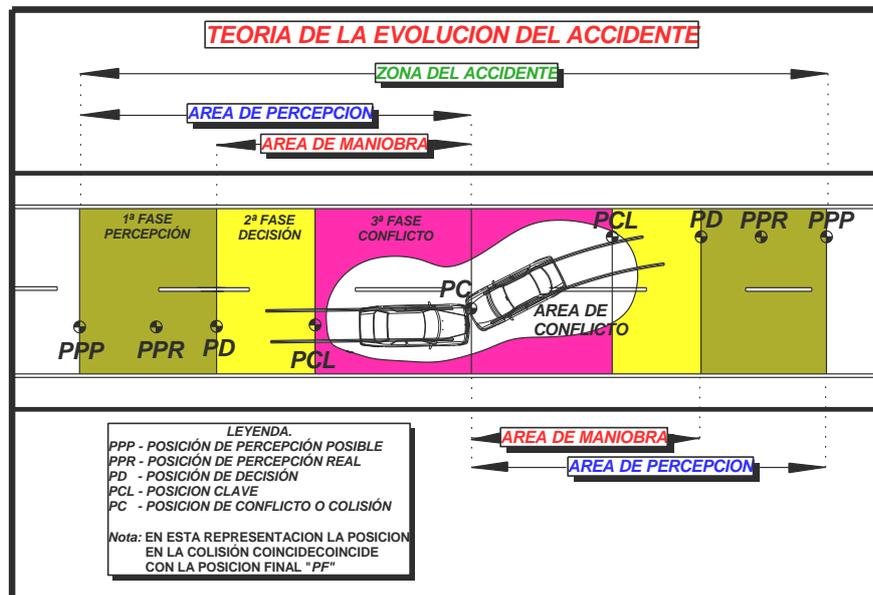


Gráfico 3. Teoría de la Evolución del Accidente

¹³ Campón Domínguez, J.A. (2002). “*La Evolución del Accidente*”. Cuadernos de la Guardia Civil: Revista de Seguridad Pública. 2ª Época. Núm. XXVI. Madrid. En la cita a pié de página núm. 24, dice: «Aunque la forma clásica de definirlos y desarrollarlos es como puntos, es decir, como una consideración en el espacio. En el Departamento de Investigación de la Escuela de Tráfico [de la Guardia Civil, en Mérida] algunos autores han comenzado a denominarlos posiciones. Esta denominación y explicación es más correcta, ya que las fases del accidente se componen de posiciones y no de puntos o de momentos por separado. A efectos de formación de investigadores es más beneficioso el tener en cuenta siempre conjuntamente el tiempo y el espacio a la hora de investigar la evolución de un accidente de tráfico. El primero en formular esta corrección fue MERA REDONDO, ANTONIO (2001). “*La reconstrucción del accidente*”. FEMP (Federación Española de Municipios y Provincias). Conferencia impartida en el “*Curso de Investigación de Accidentes y Primeros Auxilios*”, 19-21 junio. Valladolid. Baker nunca se refiere a fases o posiciones...».

Dentro de la *Teoría de la Evolución del Accidente* (Gráfico 3) se puede considerar a las *posiciones*, en algunas ocasiones, denominados de forma imprecisa “*los puntos*”, como *los elementos más determinantes de la investigación-reconstrucción de accidentes*, conociéndose como tales, y por orden cronológico, a los siguientes:

1. Posición de percepción posible (PPP). Se denomina de esta manera, al *momento* (tiempo) y *lugar* (punto físico), dentro del itinere del desplazamiento de una unidad de tráfico, *donde el movimiento o condición inesperada o extraordinaria* (concretamente la que se produjo en el accidente motivo de la investigación y no cualquier otra, genéricamente considerada, sea “*cuasiaccidente*” o “*incidente*”), *puede haber sido percibido* (reconocido) por una persona “*normal*”¹⁴.

Generalmente la posición («*punto*» en algunos manuales) PPP es objetiva y se podrá comprobar sobre el terreno en la *inspección técnico-ocular*, describiéndola y midiéndola con respecto al eje longitudinal de la calzada o vía por la que se desplace el vehículo o peatón, y con respecto a los *puntos fijos* (como su propio nombre indica, puntos localizables físicamente y de manera sencilla, ubicados en la calzada o en elementos próximos, generalmente perdurables en el tiempo, y desde los que se toman las medidas en la inspección ocular), expresando la distancia que lo separa de la *Posición de Conflicto* (PC).

2. Posición de percepción real (PPR). En condiciones de movilidad de una *unidad de tráfico*, es considerada como el *momento* (tiempo) y *lugar* (punto), *en la cual, el conductor o peatón percibió realmente por primera vez, el peligro o la situación anormal*.

La posición (“*punto*” en algunos manuales como ya se ha indicado) PPR es subjetiva, y por tanto presenta dificultades su determinación. Esta posición puede coincidir con la PPP, en el caso de que el conductor vaya atento a las exigencias del “*Sistema*” (de la gráfica de Blumenthal).

En el caso de que sea posible saber la velocidad inicial (mediante cálculos dinámicos, por la presencia de huellas de frenada, deslizamiento, energía de deformación, principio de conservación de la cantidad de movimiento, programas informáticos de reconstrucción de accidentes, etc.), se podrá, según los casos, y valoración que se realice del *tiempo de reacción* del factor o elemento humano, determinar de una forma científica, y por tanto pretendidamente objetiva, su ubicación, que ha de describirse y medirse, en la *inspección técnico-ocular*, siguiendo el mismo procedimiento que en el punto anterior.

¹⁴ Campón Domínguez, J.A. (2002). “*La Evolución del Accidente*”. Cuadernos de la Guardia Civil: Revista de Seguridad Pública. 2ª Época. Núm. XXVI. Madrid. En la cita a pié de página núm. 25, dice: «LÓPEZ-MUÑIZ GOÑI, MIGUEL,... Dice que es un espectador cuidadoso y perfectamente atento. En cambio en el Manual de Investigación de Accidentes de la Guardia Civil se introduce el concepto de persona normal, con una diligencia y un nivel de atención media. MERA REDONDO, ANTONIO: “*Las técnicas y métodos de la investigación de accidentes de tráfico (plano microscópico)*”. En Curso Selectivo de Técnicos de Tráfico organizado por la Dirección General de Tráfico. 27 de marzo. Madrid (2001). Pág. 28. Define como persona normal, a estos efectos, como aquella que está habilitada para la conducción y que por la tanto ha superado las pruebas –psicofísicas– para la obtención del Permiso de Conducir, y que además, se encuentra “libre” de la “*influencia o efectos*” de “*sustancias extrañas*” o enfermedades súbitas.»

Ahora bien, en estas ocasiones, generalmente cuando la PPP y PPR son coincidentes, y se cuenta con datos objetivos suficientes con los que realizar cálculos analíticos físico-matemáticos, se puede estar en condiciones de determinar el tiempo máximo del que dispuso el operador humano para reaccionar –ciclo completo del *tiempo de reacción*– y valorarlo en este sentido.

Ello no significa, en modo alguno, que dicha medida objetiva de ese tiempo coincida plenamente en cada una de las fases del ciclo, desde su inicio hasta el final, con el *tiempo de reacción* que realmente empleó el factor humano implicado en ese accidente concreto, pues como antes se dijo, *la percepción real* es una condición subjetiva y compleja del factor humano y por tanto su ubicación física dentro del esquema gráfico de la Teoría de la Evolución del Accidente –*posición: momento (tiempo) + lugar (punto)*–, no siempre es claramente determinable.

3. Posición de decisión (PD). En el transcurso secuencial de la actualización del accidente, es considerada como aquel *momento (tiempo) y lugar (punto)*, *en el que el conductor o el peatón reaccionan ante el estímulo exterior* (tratado más adelante dentro del *tiempo de reacción*), es decir, donde se inicia la acción prevista en la decisión que se ha adoptado, habitualmente en forma de *maniobra evasiva*.

Esta es, generalmente fácil de determinar mediante cálculos físico-dinámicos, por ejemplo, cuando exista huella de frenada previa al conflicto. Se describe y mide de igual forma que en los puntos anteriores.

4. Posición clave (PCL). Se entiende que es aquél *momento (tiempo) y lugar (punto)*, *en el cual el accidente resulta inevitable*; es decir, una situación en la que el accidente se producirá ya independientemente de la voluntad del hombre. Esta posición clave es determinable en función de la posibilidad de practicar cálculos físico-dinámicos.

5. Posición de conflicto (PC). Debe entenderse por tal, a aquel *momento (tiempo) y lugar (punto)*, *en el que se consume el accidente*, y que necesariamente estará, en la mayoría de las ocasiones, localizado sobre la plataforma y es generalmente de fácil localización (por las huellas y/o vestigios que sobre la misma se pueden observar).

6. Posición final (PF). Es aquella que adoptan las personas, vehículos y objetos, cuando llegan al reposo tras el evento (En el anterior *gráfico*, por dar sencillez a la representación y a la vez respeto de la teoría pura de la evolución del accidente, se considera como posición final a la coincidente con la de conflicto –colisión–, no obstante en la inmensa mayoría de accidentes, la posición final difiere de la de conflicto).

3.2. TEORÍA DE LA CAUSA TÉCNICA

Siguiendo en este punto a BAKER¹⁵, aunque de algunos de sus importantes planteamientos realizaremos las objeciones que entendemos precisas, hay que esbozar

¹⁵ Baker, J. S. (1957-1959-1964-1970-1986). *Traffic Accident Investigator's Manual for Police*. 1ª ed., The Traffic Institute, Northwestern University; Reimpresión 1959. 2ª ed., 1963; Reimpresión 1964, Primera impresión en España, Obra traducida

necesariamente, qué queremos decir cuando se habla de la *causa de los accidentes de tráfico*, para lo que, se necesita un concepto de lo que ha de entenderse por accidente de tráfico.

3.2.1. EL ACCIDENTE DE TRÁFICO (AT) Y SUS CAUSAS

Para BAKER, el accidente es considerado como “*la imposibilidad de completar un viaje sin daños o lesiones*”. De aquí obtenemos, *ab initio*, dos conclusiones:

a. Que *el accidente ha de tener como consecuencia necesaria*, para considerarlo como tal, *daños o lesiones*, sin importarnos en principio la cuantía de los primeros o la gravedad de los segundos.

b. Que para averiguar la *causa* necesitamos hallar la respuesta a una doble pregunta: ¿Qué es *lo que falló* en el viaje?, para que finalizara con este resultado y, ¿*por qué falló*?

Un viaje puede empezar a fallar desde el mismo momento de sus *preparativos*; puede igualmente fallar a la hora de *identificar* el peligro, así como a la hora de *decidir y aplicar*, la *acción evasiva*. Para estar más acertado a la hora de *ejecutar* la *acción evasiva*, se precisa de la denominada *estrategia* de la conducción, o sea, que como se comprueba en la gráfica de Blumenthal, necesitamos constantemente adaptar el *nivel de capacidad*, al *nivel de las exigencias* del sistema y por encima de éste (superando el nivel de exigencias), para evitar el accidente.

BAKER consideraba que, en todo accidente, han de confluir varios factores para *contribuir* a la producción del accidente. De ello, se puede obtener una nueva conclusión: “*la combinación de factores-causa es lo que contribuye a que se produzca el accidente*”. Un **factor contribuyente**, sería por tanto, *cualquier circunstancia relacionada con un accidente de tráfico, sin el cual éste no se habría producido*.

Cabe matizar, que entendemos aquí que el **factor contribuyente** guarda una relación directa con el binomio *accidente-riesgo añadido* (en todo accidente, dada la indiscutible existencia de cierto componente de aleatoriedad [el que circulando correctamente por la calzada y recibe una colisión por parte de otro vehículo que no cumple todas las normas para una correcta circulación], siempre existe un riesgo generado *ab initio*, por el mero hecho de participar en la circulación rodada). Es decir, el *riesgo añadido* supone que, además de los factores originarios sin los cuales el accidente en sí no se habría producido, hay factores que, desde el punto de vista del riesgo, han adicionado más riesgo al factor originario de producción, por lo que tienen por sí solos, como mínimo, la suficiente capacidad de modificar, correlativa, necesaria y autosuficientemente, el resultado final del accidente, obviamente, en cuanto a lesiones y daños; todo ello, como luego tendremos ocasión de ver, más adelante en la *teoría de la causa técnica*.

Existen por tanto dos clases de **factores-causa que contribuyen al accidente**, de los que BAKER dijo que, “*En todo caso, tiene que haber por lo menos un factor de cada clase, aunque normalmente sean necesarios varios, para producir el accidente*”. Esta afirmación tan

por la Dirección General de la Jefatura Central de Tráfico, bajo el título *Manual de Investigación de Accidentes de Tráfico*, junio de 1970. Baker, J. Stannard y Fricke, L. B. (1986). *Manual de Investigación de Accidentes de Tráfico*. Traducción de SICTRA del Manual de la *Northwestern University Traffic Institut*. Evanston Illinois.

categoría en parte se contradice con la necesaria *flexibilidad en la investigación*, por lo que no participamos de ella, si bien es congruente la siguiente clasificación de factores causa:

- ✓ *Operativos, o de acción.*
- ✓ *De estado, o de condición.*

3.2.2. FACTORES-CAUSA “OPERATIVOS O DE ACCIÓN”

Después de lo dicho, es fácil concluir que los *fallos en la acción de preparación, estrategia o táctica evasiva*, son *factores-causa* que contribuyen al accidente y por tanto, como mantenía BAKER, al ser fallos de *la acción*, han de ser considerados como *factores-causa operativos* (para algunos, *causa directa*).

Estos fallos operativos o de acción, ya se han descrito bajo la exposición teórica de *eslabones de la cadena de sucesos* de BAKER. No obstante y dada su importancia se van a analizar con otra perspectiva y matizaciones aquellos que están directamente relacionados con la acción operativa, que a saber, son:

1. *Preparación*. Primer eslabón de la “*cadena de sucesos*” de BAKER, que puede definirse como los actos (*acción*) de elección, antes o durante el viaje, desde los preparativos llevados a cabo con respecto al vehículo (mantenimiento mecánico, ubicación de equipajes en el interior del habitáculo, acondicionamiento de la carga, etc.), hasta el conductor (descansos anteriores al inicio del viaje, estado psicofísico previo y durante, etc.), pasando por los preparativos de itinerarios, horarios, paradas, acompañantes (posible atención hacia menores viajeros), y un amplio etcétera, sin poder dejarnos en el olvido que, dichos *preparativos*, en la medida correspondiente, también atañen al peatón, como *unidad de tráfico* que es.

2. *Estrategia*. Otro de los *eslabones de la cadena de sucesos*, y que en la evitación de accidentes se considera como fundamental lo que haga la *unidad de tráfico* (fundamentalmente el ser humano, salvedad hecha de alguna respuesta mecánica del vehículo), ante la eventualidad de que surja un peligro. La actitud de posicionamiento del *factor humano*, favorable o desfavorable, para enfrentarse a una situación de riesgo, es lo que constituye la *estrategia* de la conducción. Por tanto, como ya se dijo, la *estrategia* se puede definir, como *toda acción ejecutada por una unidad de tráfico mientras está en movimiento, que hace aumentar o disminuir la probabilidad de éxito de una maniobra evasiva, caso de presentarse la necesidad de ejecutarla ante una situación de peligro*.

3. *Acción o táctica evasiva*. Antes de que una situación de peligro llegue a ser concluyente, toda *unidad de tráfico*, por supuesto y como ya se dijera, incluido el peatón, se enfrenta a la posibilidad de que ésta sea o no *percibida e identificada*. Logrado el *reconocimiento o identificación*, y como estamos es una situación dinámica, en la que una o dos unidades de tráfico entre sí o una sola con un objeto o elemento análogo, pueden interaccionar en una *relación espacio-temporal* (la *posición*), el conductor o el peatón, necesitará realizar (*ejecutar*) una *acción o maniobra evasiva* (maniobra), previamente *decidida*, que consiga evitar o al menos minimizar, los efectos del accidente. Esta acción, que

engloba a otros eslabones de la cadena de sucesos, será tanto más exitosa, si el factor humano ha sido adiestrado para su implementación, aunque sólo sea en el plano teórico-práctico.

Correlativamente a lo anterior, el investigador necesita buscar, y encontrar si los hay, *los fallos* en estos tres factores causa, *Preparación, Estrategia y Táctica Evasiva*. Con respecto a este último y de forma particular, *los fallos* se averiguarán en las secuencias de *identificar* la situación de peligro, *decidir* qué acción tomar, y *ejecutar* la acción elegida.

Los *factores-causa operativos* se han denominado también, “*causas directas o inmediatas*” de los accidentes de tráfico, en tanto que dependen de la “*voluntad*” del *factor-elemento humano*, considerada ésta de manera amplia.

3.2.3. FACTORES-CAUSA “DE ESTADO O DE CONDICIÓN”

Son factores causa que reflejan las deficiencias (con respecto al estado óptimo en que deben interaccionar los factores elementos que intervienen en todo accidente) de determinados *atributos* o *características* de la *vía, conductor y vehículo*. La investigación de las circunstancias que pueden haber concurrido en cada uno de éstos factores-elementos y que siempre intervienen en el accidente de tráfico, *vía, vehículo y hombre*, unido, como antes se dijo, al conocimiento de los factores-causa operativos, nos dará la posibilidad de llegar a dar respuesta a las preguntas, *dónde, cuándo, cómo y porqué*, se produjo el accidente.

1. Atributos. Es indudable que existen ciertas características o cualidades inherentes a la *persona, vehículo o carretera*, que inciden en la probabilidad de que se produzca un accidente de tráfico. A estas características básicas se las denomina *atributos*, y tienen la cualidad, dentro del proceso de investigación, de facilitar la posibilidad y probabilidad de que se produzca un accidente. Los atributos no son *actos –acciones–*, ni por tanto tampoco forman parte del *comportamiento –como la acción o maniobra evasiva–*, sino que *son características que explican el comportamiento o los actos*.

Como ejemplo de atributos de *la vía*, podemos citar la adherencia del pavimento, cambiante según el tipo de éste o de las condiciones climáticas –*lluvia, hielo o nieve*–, y que es cambiante de un lugar (punto) a otro, y de un momento (tiempo) a otro, en este último caso, evidentemente sin cambiar de lugar.

Otro ejemplo, esta vez con respecto al *factor-elemento humano*, pueden ser, los problemas de vista, la obesidad, la falta de algún miembro del cuerpo, enfermedad súbita, etc.

Los *factores-causa de estado o condición* se han denominado también, “*causas mediatas*” y anteriormente “*remotas*”, de los accidentes de tráfico, en tanto que no dependen de la “*voluntad*” del *factor-elemento humano*, considerada ésta (la voluntad) de manera amplia.

Con respecto a los *vehículos*, podemos citar, el hecho de carecer de algún sistema tecnológico de ayuda a la conducción, como el ABS (Antilock Brake System) con EBV (Reparto de frenado electrónico), ESP (Electronic Skid Prevention), BAS (Asistencia de frenada de emergencia), luces de giro y freno, etc.

3.2.4. CAUSA/S

Manténía BAKER, que *si un factor no puede producir por sí mismo un accidente, no debería considerársele como causa*. Continuaba definiendo la *causa* como una combinación de circunstancias simultáneas y eslabonadas, de manera que sin una de ellas no habría ocurrido el accidente. También decía, con cierta contradicción, ya apreciada, que *en esta combinación, cada factor es necesario pero no autosuficiente para originar el accidente*.

Aquí entendemos, a diferencia del maestro BAKER, que, además de los **factores-causa operativos o de acción**, la contribución de los **factores-causa de estado o condición** a un determinado accidente, también pueden ser de carácter “autosuficiente”; por ejemplo, cuando estadísticamente se imputa como causa de un determinado porcentaje de accidentes, a la vía o al vehículo.

Además, cuando lo son para producir un nuevo accidente o alcanzar un determinado grado lesivo en daños personales o materiales –*resultado por el riesgo que se ha añadido*–, es decir, cuando a las circunstancias dadas (originarias como el *exceso de velocidad, alcohol, drogas, distracción* u otras) de unos hechos concretos que nos llevan a un *primer accidente*, consistente, por ejemplo y en un caso concreto, en la salida de vía de un vehículo en una calzada desdoblada, *añadimos* un **factor-causa de estado o condición**, que es asimismo un *elemento de riesgo* (como puede ser la inexistencia de biondas o barreras tipo “*new-jersey*”), a consecuencia del cual, se produce un *segundo accidente* en la calzada contraria, al ocasionar el característico “*salto de calzada*”.

Tenemos por tanto que reconocer, que en este *segundo accidente*, dicho factor-causa es “autosuficiente” para contribuir a su producción, es decir, es (sic) *un accidente nuevo y distinto del que se habría producido* caso de no concurrir esos **factores-causa de estado o condición** (el primero habría consistido en salida de vía y choque con bionda o “*new-jersey*”, y el segundo en una colisión frontal con un vehículo de la otra calzada, que por azar circulara en esos precisos momentos por dicho lugar).

Por tanto, desde el punto de vista de este “*segundo accidente*” (*el que con “casi” toda probabilidad* –puede ser que a consecuencia de la falta de rigidez y/o contundencia en función de la velocidad máxima a alcanzar en la vía, o de altura, de esa valla, bionda o “*new-jersey*”, saltara entero o en forma de restos importantes a la otra calzada, y originaran igualmente ese segundo accidente– *no se habría producido de haber existido esas adecuadas barreras físicas de separación de calzadas*), el **factor-causa de estado o condición**, entendemos, sí ha sido *autosuficiente* para su causación.

Habrá que aceptar por tanto que hay situaciones, aunque estadísticamente sean pocas, en las que los **factores-causa de estado o condición** serán de concurrencia totalmente *necesaria* y *autosuficiente* para que se produzca el accidente, y también algunas veces, serán los únicos factores con el apellido exclusivo de “*autosuficientes*”, que recoge la teoría de la causa, propuesta por BAKER.

Es decir, entiendo que cuando concurre el binomio: *accidente + riesgo añadido* (imputable dicho riesgo añadido, evidentemente a alguno o a varios de los **factores-**

elementos, humano, vía y vehículo, y a valorar por Jueces y Tribunales), éste es inseparable en su consideración final, pero de estudios y valoración independientes.

O lo que es lo mismo, *hay factores-causa operativos o de acción que contribuyen a que necesaria y autosuficientemente se produzca un accidente*, y además, *hay factores-causa de estado o condición que contribuyen, de forma igualmente necesaria y autosuficiente, a que se produzca otro accidente diferente así como a modificar el resultado del primero*.

De lo anteriormente dicho, se puede deducir que *cada factor-causa no tiene por qué tener la misma y excluyente importancia de cara a la consideración del tipo de accidente*, al menos desde el punto de vista de la cuantificación del *riesgo creado*, y de la intuitiva distinción entre *factores-causa operativos o de acción* (también considerados como ya se ha dicho, “*causas directas o inmediatas*”), y los *factores-causa de estado o de condición* (en algunas ocasiones considerados *causas “mediatas”* y anteriormente “*remotas*”).

Por todo lo anteriormente expuesto, se puede concluir *sobre la investigación de la causa o causas*, que si el investigador, además de lograr averiguar en cuál o cuáles de las secuencias de *reconocimiento, decisión y ejecución*, se ha producido *el fallo humano*, consigue explicar asimismo *los fallos* respectivos de las *condiciones, características o atributos* del *humano (conductor o peatón), vía y vehículo*, mediante la exhaustiva investigación de ellas, estará en la vía adecuada para conseguir averiguar el *por qué (la causa o causas)* se ha producido el accidente.

Para finalizar, es necesaria la aclaración sobre qué ha de entenderse por *causa técnica* de un accidente de tráfico. Esta es *toda condición, acción, omisión o combinación de ellas, sin la/s cual/es el accidente* (tal como lo llegamos a conocer dentro de la tipología y en función del resultado) *no se habría producido*.

3.3. EL PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS. PRELIMINARES A TODAS LAS FASES DE LA INVESTIGACIÓN

La hipótesis representa la primera fase indispensable del método y puede definirse como una proposición cuya verdad o validez no se cuestiona *ab initio*, en un primer momento, sino que permite iniciar una cadena de razonamientos que, desde luego y de manera indiscutible, posteriormente deben ser adecuadamente verificados, recordando que *los hechos no deben adaptarse a una hipótesis, sino, al contrario, la hipótesis a los hechos (verificar)*¹⁶.

3.3.1. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS

El planteamiento de hipótesis llevará a la formulación de éstas con el objeto de dar respuesta a las cuestiones del problema ya anunciado, el accidente de circulación.

¹⁶ **Verificar.** Según el Diccionario de la Lengua Española, significa: 1. Comprobar o examinar la verdad de algo. 2. Realizar, efectuar. 3. Salir cierto y verdadero lo que se dijo o pronosticó.

Es conveniente probar *primero las hipótesis más sencillas* (las que buscan *el cómo*, generalmente de contenido altamente objetivo), pues ello acelera y despeja el proceso y ayuda a probar *hipótesis más complejas*, como aquellas que investigan *el porqué*, en las que intervienen de forma preponderante la *toma de decisiones del factor humano*.

3.3.2. NÚMERO DE HIPÓTESIS

Si partimos del hecho de que lo que buscamos, en principio, es la forma o tipología del accidente o, dicho de otra forma, *el cómo* se produjo éste, en su acepción más completa, el número de hipótesis a plantear, en un número elevado de ocasiones van a ser, una (la primera) o dos (la segunda o la tercera), de las siguientes:

- a. En una primera aproximación y tras la inicial observación del accidente, el planteamiento de hipótesis, nos llevará plantear aquella directamente relacionada con respecto a un tipo determinado de la tipología del accidente (salida de vía, colisión frontal, colisión lateral, atropello a peatón, etc.).
- b. Las dudas razonables que puedan surgir, nos pueden aconsejar que planteemos la posibilidad de que sea un tipo de accidente distinto al inicialmente considerado, pero igualmente determinado y concreto dentro de la tipología conocida.
- c. En último caso, de no encajar en ningún caso concreto de los principales y más conocidos tipos de accidentes, nos llevará al encuadramiento en el apartado de *Otros* (simples o complejos), de la referida clasificación tipológica de los accidentes, pero en este caso, evidentemente a la clase o tipo de accidente indeterminado o mejor dicho poco o menos usual en determinadas zonas o épocas (incendio, explosiones, caída de usuario a la calzada, etc.).

3.3.3 CONCLUSIÓN GENERAL SOBRE EL PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS

Resumiendo, podemos definir a la hipótesis planteada sobre *“el cómo”* se produjo el accidente, como una hipótesis sencilla que busca la tipología desde su forma más general a la más concreta, basada en una información fundamentalmente objetiva, sobre que la que se tienen bastantes posibilidades de alcanzar el éxito y que constituye el escalón previo e imprescindible para iniciar, ahora sí, la actividad de búsqueda de la solución a la hipótesis de *“el porqué”* se produjo el siniestro.

4. PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN: INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN

4.1. LA INFORMACIÓN: RECOGIDA Y REGISTRO DE DATOS

La investigación de accidentes, engloba una serie de secuencias ordenadas que partiendo de la situación en la base del investigador, pasando por las labores de campo en el lugar de los hechos, consistentes fundamentalmente en observar, recoger y registrar, llegar a analizar de forma exhaustiva los datos de un accidente y finalizar con la emisión de conclusiones que determinen las causas; para que no se omita acto alguno de la investigación, se necesita de un *Protocolo de Intervención*, según el *esquema* que se va a desarrollar.

Resueltas las actividades prioritarias en los primeros momentos después del accidente, se inicia la recogida y registro de datos de información.

4.1.1. ¿QUÉ DATOS SE DEBEN RECOGER?

En principio se deben recoger cuantos datos de información den respuesta a las siguientes preguntas:

- *¿Dónde?* Se ha producido el accidente, es decir el lugar.
- *¿Cuándo?* Lo que nos llevará a averiguar la hora y fecha, así como cuales eran las condiciones ambientales y atmosféricas en dichos momentos sobre la vía.
- *¿Quién?* Está implicado en el accidente y por ello puede haber resultado herido, o fallecido; o se encuentra bajo los efectos del alcohol u otras sustancias que pueden influir en la conducción.
- *¿Qué?* Vehículo, bien material o animal, puede haber resultado dañado y quién es su titular.
- *¿Cómo?* se produjo el accidente, es decir, cuál es el tipo o clase de accidente según la clasificación normativa a efectos estadísticos.
- *¿Por qué?* Se produjo el accidente, o lo que es lo mismo, cuál es *la causa* concreta y precisa que lo ha motivado.

4.1.2. ¿CÓMO SE PUEDEN OBTENER ESOS DATOS?

Para obtener esos datos, es imprescindible seguir un *protocolo* o forma ordenada y metódica para llevar a cabo la recogida de información.

4.2. PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN

El investigador, ya se encuentre en la base o en otro lugar, habrá de tener en cuenta, de entrada, las siguientes premisas:

A. Al iniciar su actividad. Habrá de tener el vehículo perfectamente equipado, tanto en orden de marcha de éste, como del material necesario para el desempeño de su actividad.

B. Al recibir la noticia del suceso. Tendrá que decidir las acciones a realizar y el orden de llevarlas a la práctica, conociendo para ello las normas de actuación establecidas.

4.2.1. LABORES DE CAMPO

Desde el mismo momento en que el Investigador se aproxima al escenario de los hechos, deberá estar atento a cuantos *vehículos* se alejen del lugar (en sentido contrario) con signos de haber sufrido recientes daños, y de sus *conductores*, si notare en ellos algún signo o circunstancia distinta a la esperada del comportamiento normal de un conductor.

A. EN LA COMPARECENCIA EN EL LUGAR DE LOS HECHOS

Llevará a cabo las siguientes acciones puntuales, alterando el orden, con la flexibilidad que el caso requiera:

1. Adoptar precauciones de seguridad. Para ello analizará la situación y sus peligros potenciales, teniendo como objetivo que el accidente no adquiera mayores proporciones, así como que no se produzcan nuevos siniestros, concretándolo a través de la *señalización del entorno del accidente* y de la *planificación de itinerarios alternativos*.

2. Identificar a los agentes (de la autoridad) *allí presentes, así como al personal de asistencia e intervención en carretera.*

3. Organizar la colaboración espontánea de personas. Previo análisis, decidirá su procedencia y en caso positivo recabará la precisa, distribuyendo las tareas a realizar.

4. Solicitar los servicios de urgencia (si no se ha hecho ya) *necesarios y organizar su intervención, con la premisa de la actuación bajo los principios de coordinación y competencia.* Estimando los servicios que serían necesarios, acordará los medios de urgencia para la evacuación, organizando al efecto los servicios de ambulancias y helicóptero, bomberos, grúas, etc. Todo ello en virtud de las competencias otorgadas a los agentes responsables del control del tráfico.

5. Custodiar personas accidentadas (en especial *menores, ancianos y discapacitados*) o *animales.* Para ello debe adquirir técnicas básicas para tratar a personas, detectando quienes necesitan especial protección; dispondrá de una relación de centros de acogida a los que trasladarlos; elegir el método adecuado para el aviso a familiares.

6. Proteger los bienes de los implicados en el hecho. Inventariando los bienes susceptibles de desaparición y/o entregarlos bajo recibo.

7. Limpiar la calzada de restos del accidente. Estando la circulación regulada por Agentes y señalización provisional necesaria y *previa recogida de datos*, autorizar la limpieza de la calzada por personal técnico (bomberos, mantenimiento de carreteras, etc.).

8. Ayudar a que los afectados tomen datos, cuando proceda, y a cumplimentar impresos. Informará a los implicados de los datos necesarios que se deben intercambiar y de los procedimientos legales y de tramitación administrativa.

B. LAS HIPÓTESIS EN LA INVESTIGACIÓN DE CAMPO

A la hora de seguir unas determinadas líneas de trabajo, se han de plantear hipótesis sobre *el cómo* se produjo el accidente (clase y tipo de accidente, fundamentalmente), para lo que se han de tener en cuenta, de forma conjunta, al menos las siguientes cuestiones:

9. Plantear las características del tramo de vía escenario del accidente (urbana, interurbana, cruce, curva, recta, cambio rasante, etc.). A la llegada al lugar del accidente y cumplimentadas las anteriores actividades contenidas en el protocolo de intervención, el investigador debe saber que una de las primeras cuestiones es conocer, con profusión de detalles, qué características reúne el tramo de vía que constituye el escenario de los hechos y su posible modificación por las condiciones externas (*Environment*), para alcanzar una adecuada formulación de la hipótesis del accidente.

10. Examinar las trayectorias pre y postcolisión. Identificadas las características del lugar, resultará de fundamental importancia para la formulación de hipótesis, localizar e interpretar correctamente los vestigios que se observen en el tramo previo a la colisión, en el punto de ésta y en el desarrollo posterior a la misma.

11. Observar los daños. Probablemente la observación directa sobre los daños de los vehículos sea una de las fuentes más determinantes a la hora de plantear una hipótesis sobre la tipología del accidente, y ello es así precisamente, por la nítida correspondencia inicial que existe entre la/s parte/s o zona/s afectada/s del vehículo con la clase o tipología del accidente.

Pero no hemos de olvidar que no nos bastará el examen aislado de los daños de los vehículos, sino que deberemos realizar una apreciación de correspondencia entre ellos.

12. Analizar las manifestaciones-declaraciones y testimonios de conductores, peatones, usuarios, testigos y otros participantes, para identificar los hechos. Es evidente la importancia que siempre han tenido las manifestaciones-declaraciones de las personas implicadas en las resoluciones de los accidentes de tráfico y por tanto la deben seguir manteniendo también en esta particular faceta, es decir, en la consideración de las hipótesis sobre *el cómo* se produjo el accidente objeto de estudio.

C. JUSTIFICACIÓN DE LAS HIPÓTESIS EN LA INVESTIGACIÓN DE CAMPO

Generalmente es en la investigación de campo donde el investigador efectuará la recogida de datos eminentemente objetivos, con que razonar y **justificar**¹⁷ las hipótesis planteadas. Estas actividades, pueden ser, a modo de ejemplo, alguna de las siguientes:

¹⁷ **Justificar.** Según el Diccionario de la Lengua Española, significa: 1. Probar algo con razones convincentes, testigos o documentos. 2. Rectificar o hacer justo algo.

13. Por la confrontación del tipo de accidente hasta ahora averiguado y el tramo de vía escenario de los hechos, como pueden ser elementos rígidos del entorno. Se deben recoger cuantas evidencias puedan demostrar de forma objetiva, mediante su confrontación, que las huellas y vestigios localizados en el lugar se corresponden con el vehículo o peatón implicado, así como con las características propias de la tipología del accidente apuntada en la hipótesis planteada.

14. Por la observación-confrontación entre unidades de tráfico y/o elementos análogos. Por la confrontación de las lesiones en las personas, así como de los daños de los vehículos, con los correspondientes a otros vehículos implicados en el accidente, podremos confirmar y por tanto justificar, que unos y otros se corresponden de manera natural y razonable.

15. Por las manifestaciones de conductores, testigos y otros participantes. Aquí se pretende la recogida de evidencias, en este caso testificales, de correspondencia entre lo manifestado y la hipótesis planteada.

D. EL FACTOR-ELEMENTO HUMANO

Con respecto a las personas implicadas en el accidente, el investigador tendrá en cuenta:

16. Localizar y registrar las posiciones finales de personas, así como de los efectos personales. Una labor imprescindible para la investigación y reconstrucción del AT, es lograr la correcta ubicación, en su *posición final (PF)*, de las personas y objetos que portaren.

17. Localizar e identificar a todos los implicados en el suceso, así como a los testigos del mismo. Habrá que localizar e identificar plenamente a los implicados, tomándoles la manifestación-declaración correspondiente relacionada con el suceso. Igualmente importante es detectar e identificar testigos del suceso, así como determinar su ubicación en el momento del siniestro y tomarles testimonio. No olvidar que cada manifestación habrá de ser comprobada.

18. Práctica de pruebas de alcoholemia y drogas. Ha de someterse a dicha prueba a los conductores y responsables del accidente cuando proceda legal y reglamentariamente.

E. EL FACTOR-ELEMENTO VEHÍCULO

Un vehículo contiene información suficiente como para llegar a conclusiones importantes respecto al accidente sufrido. Esa información la obtendremos del reconocimiento del vehículo, a través de un examen detallado:

19. Determinar la posición final (PF) de vehículos, y en ocasiones, objetos de cierto peso o volumen. Situar y fotografiar los vehículos en la PF y si hubiesen sido movidos de la misma, deducir su ubicación exacta interrogando a los implicados, testigos y personas presentes en el lugar. Procede, asimismo, confrontar los daños de vehículos u objetos, para corroborar la forma del AT.

20. Comprobar los órganos mecánicos de los vehículos. Constatar el estado de los vehículos en su PF (posición de los mandos de los órganos del vehículo, daños, carga, situación pasajeros, etc.) y averiguar el estado que tenían antes de la colisión los órganos principales (dirección, frenos, suspensión, neumáticos, etc.).

21. Estado y características de los neumáticos de los vehículos. Merecen una particular atención, pues es el único órgano del vehículo que está en contacto con la vía. Hay que determinar las características, presión, estado del dibujo y normas de fabricación (códigos de velocidad y peso); reconocer las anomalías que puede presentar.

22. Comprobar el estado y funcionamiento del sistema de alumbrado y señalización de los vehículos. Anotar las posiciones de los interruptores de alumbrado, así como las partes que se encuentren dañadas, recogiendo en su caso las bombillas o restos, así como el cableado que se encuentre quemado, para su envío al laboratorio.

23. Verificar la instalación del tacógrafo y recogida de datos. Se investigará la posibilidad de manipulaciones, examinando los discos diagramas o los registros del tacógrafo digital y constatando los datos proporcionados por el mismo con el desarrollo del suceso.

24. Descripción de los daños producidos, en general y en algunos detalles. La exhaustiva reseña de dichos daños, facilitará la posterior reconstrucción del accidente y puede contribuir a evitar intentos de estafa a las aseguradoras.

F. EL FACTOR-ELEMENTO VÍA Y SUS ATRIBUTOS

Dentro de los factores que intervienen en el AT, la vía es el más estable. En ocasiones influye en el evento, primordialmente a través de su constitución y estado, configuración geométrica o trazado, y señalización.

25. Identificar e interpretar marcas, huellas y vestigios. Medir, situar en el boceto y fotografiar los vestigios, reconociendo los diferentes tipos de huellas y vestigios y relacionándolos con los vehículos implicados.

26. Determinar el punto de colisión del suceso (PC). Deducir la forma o tipo de la colisión identificando y fotografiando el PC sobre la vía y algún referente de ésta o de su entorno.

27. Anotar la señalización que presenta el tramo escenario del accidente. Examinar el lugar con suficiente amplitud en ambos sentidos, anotando la señalización que le afecta, con las incidencias de ubicación, visibilidad o estado que ésta pueda presentar.

28. Averiguar y registrar las condiciones atmosféricas y ambientales de la vía antes y en el momento de actualizarse el siniestro. Tener presente que dichas circunstancias pueden modificar las condiciones iniciales de la vía y que las observadas pueden diferir sustancialmente de las que concurrían en el momento del AT.

29. Buscar el coeficiente de fricción del pavimento. Teniendo en cuenta los conocimientos básicos de física y dinámica y tras identificar el tipo de pavimento y el neumático, utilizar las tablas existentes u otros medios tecnológicos existentes en el mercado

(tipo Vericon) para averiguar el coeficiente de fricción. Determinar elementos externos que influyen en el pavimento (agua, grasas, nieve, etc.).

30. Determinar la posición de percepción posible (PPP). Identificar la posible PPP tras comprobar la relación entre la configuración geométrica de la vía y terreno colindante, con las circunstancias concretas del accidente, registrando la distancia desde éste al PC.

31. Determinar la posición de percepción real (PPR). Determinar el inicio de marcas en la calzada (cuando las haya) y a partir de éstas, por cálculos físico-dinámicos y teniendo en cuenta los tiempos de reacción y de respuesta de los elementos de frenado averiguar el PPR.

32. Medir pendiente, rampa, peralte y radio de las curvas. Recordar procedimientos de medición y métodos de cálculo, o en su caso, verificar planos de construcción de vía.

33. Confección del boceto del lugar del suceso. Esta confección se llevará a cabo desde el inicio de la inspección ocular y sobre él se irán anotando las posiciones, ubicaciones de huellas y vestigios, medidas, etc., y en todo caso siempre antes de que sean modificados datos relevantes; identificar puntos fijos y a partir de éstos, por el sistema de coordenadas cartesianas o triangulación tomar todas las medidas de ubicación de posiciones finales, huellas, restos, vestigios y cuanta información se pueda aportar a la investigación; mediciones de la geometría de la vía, márgenes y terrenos o edificaciones colindantes.

G. VERIFICACIÓN SISTEMÁTICA. PRÁCTICA DE SENCILLAS PERICIAS

Realización de pericias de propia ciencia del investigador o solicitadas a expertos, peritos o talleres acreditados.

34. Obtener la opinión médico-forense sobre las lesiones de las personas. Establecer los elementos de los vehículos causantes de las lesiones por contraste; interpretar las explicaciones médicas del origen de las lesiones y recoger a poder ser los partes médicos.

35. Realización práctica de pruebas. Comprobaciones sencillas de los mecanismos de frenado, dirección y suspensión; con medios técnicos o con el propio vehículo u otro de similares características (marca, modelo y neumáticos), realizar cuando fuere necesario, en el lugar de los hechos y en condiciones climatológicas iguales, pruebas de frenada para el cálculo del coeficiente de rozamiento.

36. Consultar a mecánicos o peritos acerca de algunos de los daños del vehículo (dirección, suspensión, frenado, neumáticos). Previa detección de indicios que precisen informe pericial, solicitar autorización judicial. Recoger conclusiones de peritos sobre esas investigaciones y valorarlas dentro del proceso de investigación.

4.2.2. LABORES DE GABINETE

Obtenida la información en la fase de campo, y trasladados los investigadores al gabinete, la siguiente tarea es analizar dicha información con el fin de averiguar la respuesta a dos de las preguntas principales que debe formular todo analista, **Cómo** y **Porqué** se produjo el accidente, es decir **la tipología y la causa** del accidente.

H. INVESTIGACIÓN-DEDUCCIÓN TÉCNICA

En apartados anteriores se han realizado acciones consistentes en la verificación sistemática o práctica de pericias de las que se han obtenido unos primeros datos, que en ésta fase van a valorarse dentro del proceso de investigación, complementados con cálculos al respecto.

37. Calcular el centro de gravedad de los vehículos. Con los datos facilitados por los fabricantes y en función de la carga, ocupantes y su distribución en el vehículo, aplicar métodos sencillos, generalmente expresados en tantos por ciento con respecto a ejes o ruedas.

38. Cálculo de velocidades: inicial, pre-impacto, post-impacto, límite en curva y límite al vuelco. Teniendo presente las nociones de física-mecánica y con los datos de huellas de fricción, desperfectos, rotaciones, etc., calcular las velocidades residuales, en conflicto e iniciales de los móviles, pudiéndose ayudar de programas informáticos.

39. Confección del croquis del lugar del suceso. Teniendo como referente el boceto y los datos que le acompañan, aplicando conocimientos de dibujo (trazados en planta y perfil, escalas, trazado de curvas, etc.) y en su caso mediante programas informáticos de diseño gráfico, realizar un plano sencillo, orientado al *norte* y detallado con la leyenda explicativa del suceso. Se confeccionará a una escala exacta (jamás “aproximada”), y cuando sea preciso, se acotarán aquellas medidas que no puedan acomodarse a la escala del croquis.

40. Confección del Informe Fotográfico. Se confeccionará con las fotografías tomadas de la vía y su señalización, huellas y vestigios, daños de los vehículos y de otros elementos que hayan interactuado con el vehículo. Deberán fotografiarse, asimismo, las lesiones, posición final y, cuando proceda, las que fueren necesarias para la identificación de las víctimas mortales.

I. RECONSTRUCCIÓN DEL ACCIDENTE

Es decir, la reposición de cada factor-elemento que intervino en él, para cada momento y lugar (**POSICIÓN, en la Teoría de la Evolución del Accidente**), principalmente antes, durante y después de la colisión, adjudicándosele a cada unidad de tráfico un comportamiento u otro con respecto a su “*itínere*” (reflejado en el croquis), en función de las acciones (evasivas) y sus resultados, teniendo presente la Teoría de la Evolución del Accidente.

41. Determinar la posición de las unidades de tráfico y elementos análogos en el impacto. Reconstruir el “*itínere*”, posición a posición (fundamentalmente la *inicial, en conflicto* y la *final*), analizando huellas, vestigios y otros restos observados en la calzada, así como los daños sufridos por los vehículos y la correspondencia de unos con otros, referido a vehículos, peatones u objetos que interactuaron en el evento, determinando fielmente el *punto de conflicto* (PC).

42. Reconstruir el hecho o alguna de sus circunstancias. Aislar todas las circunstancias del hecho para reconstruirlas, desarrollando hipótesis sobre *el cómo* se produjo el AT.

J. LAS HIPÓTESIS EN LA INVESTIGACIÓN DE GABINETE

Puede ser que una vez en el gabinete, surjan nuevas consideraciones y aspectos a tener en consideración con respecto a la solución de hipótesis en general.

43. Verificar hipótesis sobre el cómo se produjo el accidente. En función de las trayectorias iniciales, de la ubicación de la PC, del contraste de los daños entre vehículos, de las trayectorias post-colisión y posiciones finales –sin olvidar las líneas de fuerza– llegar a determinar la tipología del accidente. Para el estudio del *Cómo* se deberán utilizar programas informáticos de reconstrucción de accidentes y/o realizar cálculos analíticos de física y dinámica directamente o mediante oportunas hojas de cálculo al efecto.

44. Considerar las nuevas hipótesis que puedan surgir de la puesta en práctica de cálculos físico-matemáticos o programas informáticos de reconstrucción. En el gabinete, con toda la información que se ha sido capaz de recabar, se inician los trabajos de análisis de la misma y la aplicación de cálculos físico-matemáticos y nuevas tecnologías (Programas Informáticos), fruto de las cuales pueden surgir nuevos planteamientos y por tanto nuevas hipótesis, a verificar, tanto en *el cómo*, como también, ahora y no antes, en las que buscan *el porqué*.

K. JUSTIFICACIÓN DE LAS HIPÓTESIS EN LA INVESTIGACIÓN DE GABINETE

Para la justificación en gabinete de las hipótesis planteadas, además del sempiterno testimonio de implicados y testigos, se pueden utilizar algunos de los procedimientos que a continuación se exponen.

45. Cálculos físico-matemáticos. Fundamentalmente para el cálculo de velocidades en cualquier momento de la Teoría de la Evolución de Accidentes.

46. El empleo de programas informáticos de reconstrucción de accidentes. Donde además del resultado de velocidades, comprobar el comportamiento dinámico vehicular en la interacción entre vehículos y personas.

47. El resultado o conclusiones de informes periciales practicados. Conclusiones técnicas que pueden aportar el conocimiento sobre el comportamiento de un determinado órgano de un vehículo.

L. CAUSAS DEL ACCIDENTE

Conocida la tipología del accidente (habiendo averiguado *el cómo*), la siguiente misión es determinar *el porqué* se produjo el siniestro, es decir, *la causa o causas del mismo*.

48. Establecer hipótesis sobre el porqué se produjo el accidente. En función de la información obtenida, analizar las fases del suceso, valorando acciones, comportamientos y reacciones de las personas y elementos considerados en la *Teoría de la Evolución del Accidente* y en la *Teoría de la Causa Técnica*, para llegar al establecimiento de las causas que intervinieron en el mismo.

49. Detectar errores o fallos humanos e identificarlos con factores-*causa operativos o de acción, así como los referidos al estado o condición del factor-elemento humano.* Realizar una particular referencia al factor hombre, recordando la normativa aplicable y comprobando las declaraciones de los implicados; “*itinere*” seguido en la evolución del AT; posibles infracciones o responsabilidades debidas a fallos humanos, valorando intencionalidades y consecuencias. Tener en cuenta la “*toma de decisiones*” del factor humano.

50. Detectar fallos en los medios (*vía y vehículo*) e identificarlos con factores-*causa de estado o condición.* Tener en cuenta que, aunque en menor porcentaje, los *factores-elementos vía y vehículo*, pueden ser causa de un AT o tener una importante contribución a su producción.

M. CONFECCIÓN DE DOCUMENTOS

Todo lo investigado, todo lo analizado, todo lo descubierto, si no se plasma en documentos que sirvan para perpetuar y trasladar a otras personas el trabajo desarrollado y sus resultados, no existirá en el mundo de los justos y por tanto, se habrá perdido.

Para fijar y de algún modo perpetuar la inmensa e importante labor desarrollada, hay que trasladar los resultados (en la medida que a cada uno corresponda, según su Autoridad y Potestad), a jueces y tribunales, fiscales, aseguradoras, implicados, administración, organismos especializados, etc., y para ello se constituirán en Informes Policiales, Informes Periciales, y en cuantos se deban formular con arreglo a la normativa del país, de tal manera que, respetando los formatos requeridos, faciliten una objetiva exposición y una necesaria comprensión.

Castellón de la Plana (España), agosto de 2015



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

Mtro. Juan Martín Hernández Mota

- ❖ Cuenta con estudios profesionales en Ingeniería Topográfica y Geodésica, Criminalística, Criminología, Técnicas periciales, Dinámica del automóvil, Investigación y reconstrucción de accidentes e Infraestructura y siniestralidad en accidentes de tránsito terrestre por reconocidas instituciones como la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Colegio Libre de Estudios Universitarios, Campus, Oaxaca y Puebla, la Northwestern University de Chicago, Illinois, Sictra, Marbella de España, Campus do siniestro de Portugal, Ractt de Argentina y la Procuraduría General de la República.
- ❖ Actualmente se encuentra cursando estudios de doctorado con el tema de investigación; “ Estudio Científico de los Atropellamientos De Personas en la Ciudad de México, Retos Forenses ante el nuevo Sistema de Justicia Penal Adversarial”, con la guía y el apoyo académico del Instituto Nacional de Ciencias Penales (INACIPE), reconocido como centro público de investigación por CONACYT.
- ❖ Participa como Presidente, Vicepresidente e Integrante de diversas asociaciones nacionales y extranjeras tales como la Red Nacional de Expertos Forenses, el Centro de Investigación y Formación Forense A.C., la Organización Mundial de Accidentología Vial, el Comité Científico de la Asociación Española de Accidentología Vial y Criminalistic.org, entre otros.
- ❖ Actualmente imparte cátedra en tres universidades de México y es académico invitado en dos entidades universitarias de Iberoamérica.
- ❖ Cuenta con cuatro libros publicados.
- ❖ Es Perito en Tránsito Terrestre para diversas procuradurías del país y para la Procuraduría General de la República; y participa como Dictaminador de Accidentes Graves para 45 Autopistas concesionadas de la Red Nacional de Carreteras (FONADIN, Banobras).



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

Retos y Necesidades de la Investigación y Reconstrucción de Accidentes Viales en México



Juan Martín Hernández Mota



- ¿Quiénes investigan los accidentes viales en México?

- Aseguradoras
- Encargados de las autopistas
- La Policía
- Peritos (administración y procuración de justicia).
- Conapra.
- Entidades gubernamentales y oficinas de estadística, Inegi, CNS, PF, otras
- Universidades e institutos de investigación, etc.

- Enfoques proactivo y preventivo.

- Administración y procuración de justicia.
- Estudios de accidentalidad

- Fuente de datos de accidentalidad.

- Policía

Juan Martín Hernández Mota



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro



Estado del arte

Lo que se dijo

“Un enfoque que trata de fincar la causa de un accidente únicamente en el comportamiento del conductor, es simplista en extremo.”

“...En nuestro país es común “culpar a las víctimas” (usuarios) y tratar de encontrar soluciones a la problemática en las “causas” del accidente (conductor, vehículo y camino), las cuales generalmente se analizan como, causa única”.

“Decir que estamos en la etapa de “culpar a las víctimas” y que al accidente se le asigna una “causa única”, se puede observar, como ya se dijo, **en la estadística que maneja el sector y en los reportes que genera la Policía Federal (PF)**; éstos indican que de las causas de accidentes atribuibles en las carreteras federales, alrededor del 80% de las veces se deben al conductor, 7% al vehículo, 9% a agentes naturales y sólo el 4% al camino. En México no existen estadísticas que muestren la interacción de los elementos usuario, vehículo y camino en la ocurrencia de accidentes”.

IMT, Publicación Técnica No. 101 (1998)

“Desgraciadamente, el registro de los factores de riesgo, como la velocidad, la conducción bajo los efectos del alcohol y los distractores, no es reportado adecuadamente en nuestro país. Por ello, no es posible determinar la evolución o los cambios en las conductas y la presencia de factores de riesgo”.

Conapra, Segundo informe sobre la situación de la seguridad vial, 2013.

Juan Martín Hernández Mota



El accidente
Caso 1

• Opiniones vertidas

- Policía, “Conductor conducía con exceso de velocidad”
- Perito, “La presencia de sustancias intoxicantes que redujeron los tiempos de reacción y percepción del conductor.”
- Mantenimiento carretero; “no se puede hacer nada ante un vehículo sin frenos, hubiera utilizado la rampa que tenemos antes”
- Medios, “Los profesores al encontrarse dentro de un área restringida.”



Nota; sólo una entidad privada realizó la investigación de forma integral, detectando graves errores y deficiencias en la infraestructura vial y que coadyuvaron de forma relevante en el origen del accidente. Dicha entidad emitió recomendaciones puntuales que de haber sido atendidas con prontitud, la magnitud del accidente hubiera tenido menores consecuencias.



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro



Juan Martín Hernández Mota



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro



El accidente

Caso 2

• Opiniones vertidas

- Policía, “Conductor no guardo sus medidas de seguridad y precaución al frente de su circulación y a exceso de velocidad”.
- Perito, “La causa determinante deficiencia estructural en el gancho que sujeta el Dolly del segundo remolque, además de ser conducido el tractocamión a una velocidad mayor a la permitida..”
- Medios, “El cansancio y la larga jornada de trabajo...”



Nota; en ningún trabajo de investigación del hecho, se menciona que sobre la superficie de rodamiento (en mal estado) se presentaban hundimientos y escalonamientos, además, se encontraban triblocks al interior de la vía, contra los que colisionó por primera vez el tractocamión. El tramo en obra, estaba deficientemente señalizado (horizontal y vertical) y los señalamientos de velocidad eran confusos, dos en la misma zona uno con 40 km/h, otro más con 90 km/H.



¿Nuevos paradigmas ?

Lo que hoy se dice (2015):

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Lineamientos generales para establecer una política institucional sobre investigación de accidentes de tránsito en carreteras federales

Publicación Técnica No. 434



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

Publicación Técnica No. 434



Cómo se deberá llevar a cabo la Investigación de Accidentes.

Las actividades que a continuación se mencionan, resumen la manera que se propone para llevar a cabo la investigación de accidentes. Cabe destacar que las actividades que se plantean provienen de las mejores prácticas internacionales.

Actividades de campo

- 1) Asegurar el lugar, conservar las evidencias e impedir su desaparición. (Sosa, Montiel. Criminalística 1, Ed. Limusa, 1978)
- 2) Buscar en primera instancia las evidencias transitorias, tales como manchas de agua, tierra, derrames de líquido, etc. y ubicarlas en la zona del lugar del accidente mediante marcas en el pavimento. (Sosa, Montiel. Criminalística 1, Ed. Limusa, 1978)
- 3) Iniciar la redacción del "Parte de Accidente" por la elaboración del "Croquis Ilustrativo", registrando y ubicando primero las evidencias transitorias. (Diario Oficial de la Federación, lunes 18 de febrero de 2013, 25ava revisión)
- 4) Continuar con la elaboración del "Croquis Ilustrativo" registrando el resto de evidencias físicas en el lugar del accidente (huellas de frenado, daños, posiciones finales de los vehículos, vestigios de pintura o polvo, arrastres metálicos, etc. También se deberán incluir y ubicar en el "Croquis Ilustrativo" los puntos que describen las fases del accidente, las cuales se mencionan en la Sección 3.2.1 de este estudio. (Diario Oficial de la Federación, lunes 18 de febrero de 2013, 25ava revisión)
- 5) Se deberá establecer como obligatorio que el oficial que elabora el "Parte de Accidente" ubique y registre todas las evidencia físicas en el lugar del accidente e indique las distancias y medidas a un punto de referencia, ya sea utilizando el Sistema de Medición de Coordenadas o el sistema de Medición por Triangulación. (Manual de Investigación de Accidentes de Tráfico, Segunda Ed. Criminalística México, 2004)

Se destaca que éste es el elemento primordial para la efectiva investigación y reconstrucción del accidente.

Juan Martín Hernández Mota

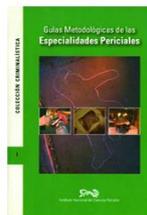


INT, Publicación Técnica No. 434
(2015)

- 6) Se deberá entrevistar a los testigos. En este caso, se deberá buscar obtener dos tipos de entrevistas...

Los lineamientos que se proponen en este punto sobre cómo llevar a cabo la investigación de accidentes, deberán homologarse dentro de un protocolo único, que podría consistir en una "Guía Metodológica para llevar a cabo la Investigación de Accidentes", que sea obligatoria para los distintos órdenes de gobierno (federal, estatal y municipal).

Existen dos protocolos de investigación, ineludibles, para aquel que intente una buena investigación multidisciplinaria del accidente en carreteras. La naturaleza *jurídico-penal* de los protocolos implica el involucramiento de áreas de competencia exclusivas del policía investigador, del perito y concierne a la preservación del lugar del hecho, de la cadena de custodia y de la interpretación correcta de las huellas e indicios.



Guías metodológicas para investigación de accidentes



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro



¿Evolución?
Más bien:
adaptación.

¿ Quién? deberá llevar a cabo la Investigación de Accidentes

La Policía Federal, en lo concerniente a la Red Carretera Federal, deberá seguir siendo la responsable de llevar a cabo los trabajos de campo, relacionados con la elaboración del “Parte de Accidente” en los términos que se describen anteriormente (sic).

d) Trabajos de Gabinete

Por lo que hace a los trabajos de gabinete, que como ya se dijo el objetivo es establecer de manera clara la secuencia del accidente, determinar las causas que llevaron a su ocurrencia, precisar las circunstancias que hubieran podido evitarlo y definir las principales conclusiones y recomendaciones del análisis, esta tarea podría llevarse a cabo por un equipo multidisciplinario, especialmente formado para ello dentro del Instituto Mexicano del Transporte, o bien, en su momento, en la Agencia Nacional de Investigación de Accidentes.

IMT; Publicación Técnica No. 434
(2015)

Juan Martín Hernández Mota



Nuevos
paradigmas

Del mito al logos

“La investigación de accidentes viales suele darse por concluida al encontrarse, o parecer que se encuentra, con el fallo o error de un conductor o peatón teniéndolo por causa directa, inmediata, desencadenante o determinante. Sin embargo, concebir el error humano como causa determinante de la siniestralidad del transporte, como se viene haciendo, es un desorden lógico, teórico o racional, que no se corresponde con la realidad, es otro mito de los tantos que existen sobre la siniestralidad y seguridad del transporte. Pero los siniestros, los muertos y los heridos del transporte son de verdad, y por eso en esos sistemas sólo sirve la verdad.”

Luis Xumini Soler, Comité científico de la AEA.V.



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro



Retos actuales de la investigación de accidentes

En el ámbito de la investigación de los accidentes la aplicación de la teoría tiene que servir para esclarecer qué elementos fallaron o cambiaron el proceso para producir y mantener el equilibrio de la posición y el movimiento de los cuerpos, y qué condiciones y cualidades fueron las que fallaron, actuaron o no existían. En definitiva, en qué consiste el problema técnico que hizo posible el accidente; y en qué consiste el problema técnico que hizo posible que se produjeran las víctimas y su gravedad; y si ello es posible y se conoce, las recomendaciones tecnológicas para que ello no vuelva a producirse o se disminuya. Pues si los problemas técnicos que provocan los siniestros, las víctimas y su gravedad no se estudian y plantean, nunca se resolverán.



Retos actuales de la investigación de accidentes

Para alcanzar eso que llamamos *seguridad vial* el campo en el que hay que trabajar es:

Amplio
Complejo y
Heterogéneo

Porque, como bien dice la Organización Mundial de la Salud, la seguridad vial no es accidental, sino esencial y funcional, o sea, el efecto de un trabajo hecho con metodología siguiendo los planteamientos de una teoría.



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro



“No podemos resolver problemas pensando de la misma manera que cuando los creamos.”

Albert Einstein.

Juan Martín Hernández Mota



Trabajo realizado con notas de:

- Luis Xumini Soler
- Publicaciones técnicas del Instituto Mexicano del Transporte
- Protocolos de actuación pericial (PGR)
- Código Nacional de Procedimientos Penales
- Acuerdo A009/2015; La **preservación del lugar de intervención y la cadena de custodia**,
- Conapra
- Dictaminador Accidentes Graves, Red Fonadin

Juan Martín Hernández Mota



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

D.I. Rafael Cal y Mayor Leach

- ❖ Diseñador Industrial por la Universidad Ibero Americana, Maestro en Arquitectura con especialidad en Restauración de Monumentos por la Universidad Nacional Autónoma de México, candidato a Maestría en Ingeniería de Transporte por la Universidad de Texas en Austin.
- ❖ Entre sus publicaciones destaca el libro “Iglesias del Centro Histórico de la Cd. de México” en el que se describen las 72 iglesias localizadas en el Centro Histórico con apoyo de mapas y fotografías profesionales de alta calidad.
- ❖ Ha participado en cursos internacionales sobre prevención y control de traumatismos causados por accidentes de tránsito en carreteras y en el Centro Internacional de Investigación de Lesiones de Johns Hopkins.
- ❖ Especialista en Seguridad Vial.
- ❖ Actualmente es el Subdirector de Autopistas de Grupo IDEAL, Promotora del Desarrollo de América Latina.



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

TEMAS A COMENTAR EN EL 1er SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES VIALES IMT- CONACYT SEPT 2015

DE COMÚN ACUERDO CON LOS 5 PILARES DE LA DÉCADA DE LA SEGURIDAD VIAL.-

PILAR 1.- GESTIÓN DE LA SEGURIDAD VIAL

- SE PERCIBE MUY POBRE EL APOYO A LA DÉCADA DE LA SEGURIDAD VIAL MEDIANTE CAMPAÑAS DE MEDIOS, DEBIENDO SER EL GOBIERNO FEDERAL EL QUE PONGA EL EJEMPLO.
- AJUSTAR LA ESTADÍSTICA DE ACCIDENTES POR CARRETERA, AUTOPISTA Y CONSIDERANDO SU AFORO Y HACIA UNA CLASIFICACIÓN UNIVERSAL.
- FOMENTAR LA SEGURIDAD VIAL CON RECONOCIMIENTOS A LAS EMPRESAS DE TRANSPORTE DE PASAJEROS Y DE CARGA MÁS SEGURAS.

PILAR 2.- VÍAS DE TRÁNSITO MÁS SEGURAS

- SIN HACER A UN LADO NUESTRA OBLIGACIÓN COMO OPERADORES DE AUTOPISTAS DE CUOTA, NOS AFECTAN LOS ATRASOS EN LA LIBERACIÓN DE DERECHO DE VÍA PARA LA TERMINACIÓN DE DIVERSOS PIV's Y OBRAS COMPLEMENTARIAS EN VARIAS AUTOPISTAS, ASÍ COMO A ACCESOS IRREGULARES QUE, POR TEMAS SOCIALES Y DE SEGURIDAD, NO ES FACTIBLE CERRAR.
- MAYOR PREVENCIÓN DE ACCIDENTES EN PUNTOS NEGROS DE PARTE DE LA POLICÍA FEDERAL Y CON RADARES DE VELOCIDAD.

PILAR 3.- VEHÍCULOS MÁS SEGUROS

- VEHÍCULOS FABRICADOS EN MÉXICO Y PARA VENTA EN MÉXICO CON EL MISMO EQUIPAMIENTO DE SEGURIDAD QUE EN EUA, PARA EL 2016
- PROHIBIR LA IMPORTACIÓN DE VEHÍCULOS “CHOCOLATE” PELIGROSOS, COMO LA F EXPLORER Y LA F EXPEDITION.
- PROHIBIR LOS CAMIONES DE TRANSPORTE DE PRODUCTOS PELIGROSOS DE 9 EJES. MÁXIMO, 6 EJES.



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

PILAR 4.- CONDUCTORES MÁS SEGUROS

- OBLIGATORIO, PRUEBA TEÓRICA Y PRÁCTICA DE MANEJO A TODO NUEVO CONDUCTOR, DADO A TRAVÉS DE EMPRESAS CONCESIONADAS PARA TAL FIN. ESTO, PRINCIPALMENTE PARA AUTOS Y CAMIONETAS.
- LICENCIAS ELECTRÓNICAS QUE INCLUYAN EL HISTORIAL DE ACCIDENTES Y MULTAS DE CADA CONDUCTOR.
- PROHIBIR ANUNCIOS DE AUTOS QUE ENFATICEN EL EXCESO DE VELOCIDAD
- AGREGAR A ANUNCIOS DE AUTOS Y DE SEGUROS EL ELEMENTO DE SEGURIDAD
- CAMPAÑAS MASIVAS DE SEGURIDAD VIAL

PILAR 5.- SERVICIOS DE EMERGENCIA

- INTEGRAR LA ESTADÍSTICA DE ACCIDENTES MEDIANTE REPORTES EN FORMATOS ELECTRÓNICOS CON CRUZ ROJA, POLICÍA FEDERAL Y AUTOPISTAS DE CUOTA
- ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE EMERGENCIAS EN HOSPITALES CERCANOS A AUTOPISTAS Y CARRETERAS, TENDIENTES A MEJORAR SU EQUIPAMIENTO Y CERTIFICACIÓN.

NOTA.- LAS PROPUESTAS DEBEN CONSIDERARSE A TÍTULO PERSONAL Y NO NECESARIAMENTE COINCIDEN CON LOS CRITERIOS DE LA EMPRESA.



RCYML AGO 15



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

SESIÓN DE CARTELES



1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales

“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

02 al 04 de Septiembre de 2015
Querétaro

EL EFECTO DE LAS DIMENSIONES DE LOS VEHÍCULOS DE CARGA EN LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA

E. ABARCA, G. PEREZ & A. MENDOZA

Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte, Instituto Mexicano del Transporte,
eabarca@imt.mx, gperez@imt.mx, mendoza@imt.mx

RESUMEN

El incremento intensivo en el comercio mundial ha provocado que México haya tenido grandes desarrollos en el transporte que han beneficiado a todo el país y a su economía, observándose un incremento de la flota vehicular de carga, así como de sus pesos y dimensiones. Esta situación ha alertado a las autoridades para mejorar las regulaciones de la operación del transporte y de las del diseño de carreteras para poder contar con servicios de infraestructura básica segura. El presente trabajo pretende evaluar los efectos de las dimensiones máximas de las configuraciones vehiculares autorizadas actualmente con las características geométricas de la Red Carretera Federal, con la finalidad de dar una serie de recomendaciones para el mejoramiento de la operación de los vehículos de carga y el de la infraestructura carretera.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el incremento intensivo en el comercio mundial ha provocado que México haya tenido grandes desarrollos en el transporte que han beneficiado a todo el país y a su economía, observándose un notable crecimiento en su infraestructura y en la expansión de las cadenas logísticas de suministros y distribución [1].

Dicho desarrollo se observa en el aumento del parque vehicular del autotransporte federal de carga, que en 2013 se tenían registradas 729,046 unidades, 31% más que las reportadas en 2007. Del total, 623,439 unidades (85.51%) prestan un servicio de carga general y 105,607 unidades (14.49%) prestan un servicio de carga especializada, 29% y 44% más que las reportadas en 2007, respectivamente. 79% de las unidades de carga especializada corresponden a las que transportan materiales y residuos peligrosos [2]. Se puede apreciar una evolución importante de las unidades de carga especializada en México, debido principalmente a que gran parte de los refinados que mueve PEMEX de sus refinerías a sus centros de distribución se mueven por carretera.

Para el año 2013, el estimado de la distribución de la flota de vehículos de carga fue: 34.2% para el T3-S2, 24.3% para el C2, 17.6% para el C3, 12.7% para el T3-S2-R4 y finalmente 6.0% para el T3-S3. La presencia del vehículo con doble articulación, T3-S2- R4 ha venido en aumento en las Carreteras Federales durante los últimos años [3].

El mejoramiento tecnológico de los vehículos de carga ha sido una herramienta de las empresas del autotransporte para mejorar sus capacidades de comercio en busca de ser más competitivas en esta dinámica de desarrollo y expansión comercial internacional, sin embargo, ha traído consigo un aumento en los pesos y dimensiones de las unidades de la flota.

El acelerado incremento de la flota vehicular de carga y el aumento de sus pesos y dimensiones, ha alertado a las autoridades para mejorar las regulaciones de la operación del transporte y de las del diseño de carreteras para poder contar con servicios de infraestructura básica que puedan afrontar dicha situación.

Por un lado se tiene la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2008 (NOM-012) que regula y especifica los pesos y dimensiones con las cuales deben circular los vehículos del autotransporte federal que transitan en las vías generales de jurisdicción federal; así como los casos especiales que se presenten en dichos vehículos. En ella, vienen especificadas las dimensiones máximas autorizadas para circular, en donde la dimensión máxima es de 31m de largo correspondiente a una configuración vehicular de tractocamión-semirremolque-remolque [4].

Por el otro, se tiene a la normativa mexicana de proyecto geométrico de carreteras “Norma de Proyecto Geométrico” [5], que especifica los valores de diseño de las carreteras como las ampliaciones en curva requeridas para cada tipo de camino, velocidad de proyecto, grado y radio de curvatura, entre otros. Dichos valores se basan en el Manual de Proyecto Geométrico [6] realizado en los años 70’s, que utilizaba vehículos de proyecto representativos de hace 40 años; el vehículo de mayor envergadura mostrado en el Manual es la configuración tractocamión-semirremolque con 17 m de largo y 15.5 m de distancia entre ejes.

Considerando que la “Norma de Proyecto Geométrico” es la única referencia vigente del diseño de carreteras y que gran parte de la Red Carretera Federal se ha diseñado con eso criterios y que al paso de los años, los vehículos y las condiciones prevalecientes han variado significativamente, se estima que las características geométricas y estructurales de algunas carreteras son inadecuadas para la circulación segura y eficiente de los vehículos actuales, sobre todo de los vehículos de gran envergadura como son los vehículos de carga, sobre todo la especializada.

El presente trabajo pretende evaluar los efectos de las dimensiones máximas de las configuraciones vehiculares autorizadas actualmente con las características geométricas de la Red Carretera Federal, como una necesidad de actualizar los valores relacionados a la sección transversal en la normativa del proyecto geométrico de carreteras.

Para el presente trabajo se desarrolló la siguiente metodología que se enlista a continuación:

1. Realizar un levantamiento de campo de una muestra representativa, para obtener información de las dimensiones de los vehículos que actualmente circulan por la Red.
2. Determinar las combinaciones de las dimensiones de los vehículos de carga, así como las posibles dimensiones del tractocamión, remolques, semirremolques y convertidores, de las configuraciones vehiculares máximas permitidas para generar los vehículos tipo que se evaluarán, con base en los resultados obtenidos en el punto 1.
3. Determinar las características geométricas, como los anchos de carril, ampliaciones, deflexiones y radios mínimos, considerando los valores mínimos permitidos en la Norma de Proyecto Geométrico [5] para cada tipo de camino.
4. Utilizar el programa de cómputo AutoTURN [7] para realizar las simulaciones gráficas de las trayectorias de los vehículos, obtenidos en el punto 2, obteniéndose los anchos de los barridos (Swept Path Width) que se compararán con las características geométricas de las carreteras definidas en el punto 3.

5. Generar un conjunto de conclusiones y recomendaciones a partir de los impactos evaluados en el punto anterior.

2. CONCEPTOS GENERALES

21 El vehículo

En el proyecto de los elementos de una carretera, deben tenerse en cuenta las características geométricas y de operación de los vehículos que la van a usar. Las características geométricas están definidas por las dimensiones y el radio de giro del vehículo. Las características de operación están definidas principalmente por la relación peso/potencia del vehículo [6].

Es importante conocer las dimensiones de todas las configuraciones vehiculares autorizadas que circulan actualmente en nuestro país para poder determinar su impacto en las carreteras. Para efectos de este estudio, únicamente se analiza el impacto de tres configuraciones vehiculares en particular: C3, T3S2 y T3S2R4.

22 Ampliación en una curva

El radio de giro es el radio de la circunferencia definida por la trayectoria de la rueda delantera externa del vehículo, cuando éste efectúa un giro. El radio de giro, la distancia entre ejes y la entre ejes del vehículo, definen la trayectoria que siguen las ruedas cuando el vehículo efectúa un giro [6].

En el caso de los vehículos (automóviles, camiones y vehículos de carga), las ruedas traseras no siguen la misma trayectoria que las delanteras cuando se realiza un giro. La diferencia en las trayectorias de las ruedas delanteras y las traseras se conoce como “offtracking” o “despiste” [8].

Durante el giro a velocidades bajas, las ruedas delanteras arrastran a las traseras hacia ellas en todo el interior de la curva. La magnitud de este fenómeno es pequeña en automóviles y se ignora por lo general. Para los tractocamiones, sin embargo, es considerable y es un factor importante en el proyecto geométrico de carreteras. El uso más importante del “despiste” para el uso en el proyecto geométrico de una carretera, es el “swept path width” o “ancho de barrido” que es la parte del ancho del camino que recorre un vehículo de carga al tomar una curva y que es igual al “despiste” más el ancho del tractocamión; es la dimensión más importante que se ve afectada por la diferencia en las trayectorias de la rueda exterior del eje delantero del tractocamión y la rueda interna del eje trasero del semirremolque. El “ancho de barrido” sirve para calcular las ampliaciones en las curvas horizontales de una carretera y para diseñar la orilla interna de la calzada en los ramales de las intersecciones. En la Figura 1 se muestra el esquema de las trayectorias, radio de giro, despiste máximo y ancho de barrido de un tractocamión articulado.

El “despiste” aumenta gradualmente a medida que un vehículo hace la maniobra de giro. Cuando su distancia sigue aumentando, dicha situación se denomina “despiste parcialmente desarrollado”. A medida que el vehículo continúa moviéndose en una curva de radio constante, el despiste llega a su valor máximo; cuando el vehículo continúa circulando y el valor ya no aumenta más, se le denomina “despiste totalmente desarrollado” o “despiste máximo”.



Figura 1 - Ampliación de un tractocamión articulado. Trayectorias, radio de giro, despiste máximo y ancho de barrido [8].

2.3 Ampliación para proyecto de curvas horizontales

La ampliación es muy importante en el diseño de curvas horizontales; la ampliación es la distancia adicional al camino en tangente que requiere un vehículo para poder girar adecuadamente, de acuerdo a las dimensiones permitidas y velocidad en el camino. La ampliación depende de las dimensiones del vehículo, del radio de curvatura, de la velocidad, entre otros.

Como se mencionó anteriormente, la normativa mexicana de proyecto geométrico [5], especifica las ampliaciones en curva requeridas para cada tipo de camino, velocidad de proyecto, grado y radio de curvatura, sin indicar el tipo de vehículo utilizado para su cálculo. Dichos valores se basan en el Manual de Proyecto Geométrico [6], que utilizaba vehículos de proyecto representativos de hace 40 años; el vehículo de mayor envergadura mostrado en el Manual es la configuración tractocamión-semirremolque con 15.5 m de distancia entre ejes. La Tabla 1 muestra las ampliaciones máximas correspondientes a cada radio mínimo de curvatura, para cada tipo de camino y para cada velocidad de proyecto, presentadas en la Norma de Proyecto Geométrico [5].

2.4 Dimensiones máximas autorizadas

La NOM-012-SCT-2-2008 (NOM-012) regula y especifica las dimensiones con las cuales deben circular los vehículos del autotransporte federal que transitan en las vías generales de jurisdicción federal; así como los casos especiales que se presenten en dichos vehículos. En ella, vienen especificadas las dimensiones máximas autorizadas y los casos especiales de carga, [4]:

- El ancho máximo autorizado para todas las clases de vehículos que transitan en los diferentes tipos de caminos será de 2.60 m; este ancho máximo no incluye los

espejos retrovisores, elementos de sujeción y demás aditamentos para el aseguramiento de la carga. Sin embargo, estos accesorios no deben sobresalir más de 20 cm a cada lado del vehículo.

- La altura máxima autorizada para todas las clases de vehículos que transitan en los diferentes tipos de caminos, será de 4.25 m.
- El largo máximo de cada tipo de vehículo de acuerdo al tipo de camino por el que transite se muestra en la Tabla 2.

Tabla 1 – Ampliaciones requeridas por radio mínimo de curvatura para cada velocidad y tipo de camino.

Velocidad (km/h)	Radio mínimo (m)	Tipo de Camino				
		A4S	A4	A2 y B	C	D y E
		Ampliaciones (cm)				
30	19.10	-	-	-	-	210
40	38.20	-	-	-	190	140
50	67.41	-	-	130	140	110
60	104.17	-	-	100	110	90
70	152.79	80	170	80	90	80
80	208.35	80	150	80	90	-
90	269.63	70	140	70	80	-
100	352.59	60	130	60	80	-
110	416.70	60	120	60	-	-

Tabla 2 – Longitud máxima para cada configuración vehicular por tipo de camino.

Configuración vehicular	Largo total (m)			
	ET y A	B	C	D
TSR	31.00	28.50	NA ^a	NA ^a
TS	23.00	20.80	18.50	NA ^a
C	14.00	14.00	14.00	12.50

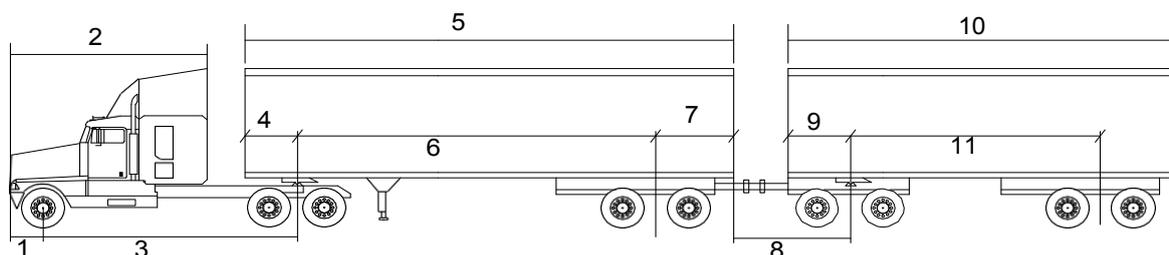
^a.NA= No autorizado

3. LEVANTAMIENTO DE CAMPO DE UNA MUESTRA REPRESENTATIVA

La información más representativa que se puede tener de las dimensiones de las configuraciones vehiculares actuales, es midiendo los vehículos que transitan por la Red Federal. Es por ello que se hizo una medición de unidades, en campo, en una estación de pesaje. La estación de peso y dimensiones en la que se hizo el levantamiento de datos fue el centro de verificación de peso y dimensiones de Calamanda, el cual se encuentra ubicado en la Carretera Federal 57, en el tramo México-Querétaro, a 20 km de la Cd. de Querétaro y en dirección hacia México. Cabe mencionar que esta vía es de las que tiene un mayor Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) en todo el país.

Los datos que se registraron fueron el largo y ancho de los vehículos y otras que se requieren para posteriormente realizar las simulaciones en el programa AutoTURN [7]. Un ejemplo de las mediciones realizadas se muestran en la Figura 2, correspondiente a la configuración tractocamión con semirremolque y remolque.

Se midieron 73 vehículos, de los cuales 28 corresponden a camiones, 35 al arreglo tractocamión-semirremolque y 10 al arreglo tractocamión-semirremolque-remolque.



Donde:

1 = Vuelo delantero

2 = Largo de la cabina del tractocamión

3 = Distancia entre ejes del tractocamión

4 = Distancia del inicio del semirremolque a la quinta rueda

5 = Largo del semirremolque

6 = Distancia de la quinta rueda al centro del arreglo de ejes del semirremolque

7 = Distancia del eje trasero del semirremolque al término de éste

8 = Distancia de donde termina el semirremolque al primer eje del remolque

9 = Distancia del inicio del remolque al centro del convertidor

10 = Largo del remolque

11 = Distancia del centro del convertidor al centro del arreglo de ejes del remolque

Figura 2 - Dimensiones de un tractocamión con semirremolque y remolque.

4. DETERMINACIÓN DE LOS VEHÍCULOS REPRESENTATIVOS A EVALUARSE

Las dimensiones de los vehículos, considerados como los más representativos, elegidas para realizar las simulaciones en el programa AutoTURN [7] se tomaron con base, primeramente, en las mediciones realizadas en la estación Calamanda y posteriormente corroboradas y afinadas con base en las fichas técnicas de la ANPACT [9] y a partir de un registro de datos obtenido de la Dirección General de Autotransporte Federal (DGAF) de la SCT. Las longitudes de los vehículos representativos analizados para este estudio se muestran en las Figuras 3, 4 y 5.

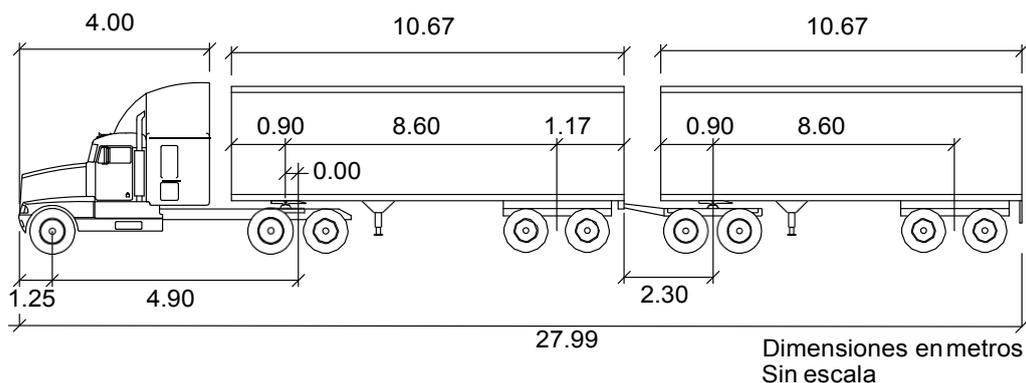


Figura 3 - Longitudes del vehículo de configuración tractocamión-semirremolque-remolque con cajas de 35 pies denominado T3S2R4-35.

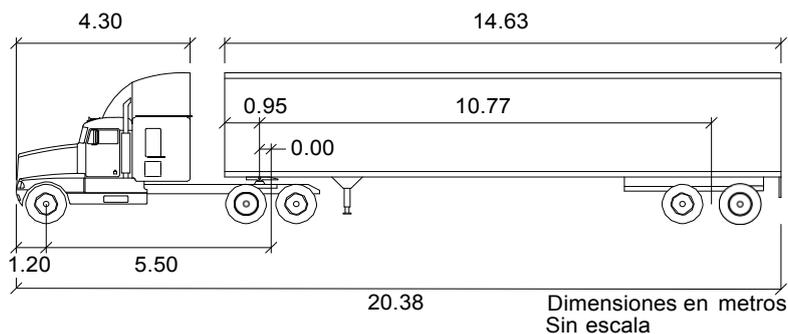


Figura 4 - Longitudes del vehículo de configuración tractocamión-semirremolque con caja de 48 pies denominado T3S2-48.

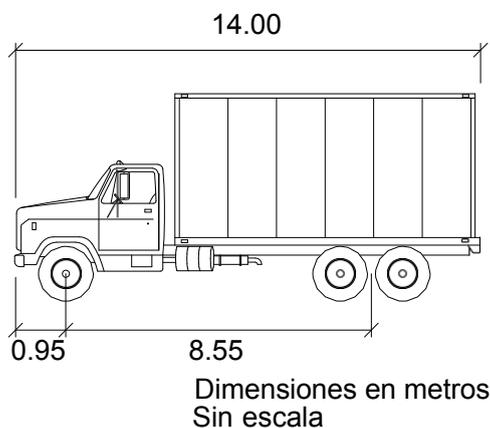


Figura 5 - Longitudes del camión unitario denominado C3-14.

5. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

El vehículo T3S2R4-35 con longitud de 27.99 m no excede el límite para los caminos ET, A y B. Para este estudio se consideró realizar las simulaciones para el tipo de camino más restrictivo, el tipo B. Aunque no está permitida la circulación para los vehículos con configuración TSR en caminos tipo C, se tomó en cuenta para realizar las simulaciones debido a los casos de conectividad y por considerar algunas situaciones críticas que pudieran presentarse.

El vehículo tractocamión-semirremolque T3S2-48 tiene 20.38 m de longitud total que no excede los límites de los caminos A y B pero sí del tipo C. Como en el caso anterior, la simulación de este tipo de vehículo decidió realizarse para caminos tipo B y C, el primero por considerarse el tipo de camino con más restricciones en la que está autorizado a circular y el segundo para considerar los casos de conectividad o situaciones especiales. El vehículo representativo C3-14 tiene 14 m de longitud, que está dentro del límite de los caminos tipo A, B y C, pero no para el tipo D, aunque en casos de conectividad podría circular por éste. Para fines del estudio, se decidió realizar las simulaciones por el tipo de camino autorizado con mayores restricciones, que es el camino tipo C y en el camino tipo D, para tomar en cuenta el aspecto de conectividad.

El vehículo representativo C3-14 tiene 14 m de longitud, que está dentro del límite de los caminos tipo A, B y C, pero no para el tipo D, aunque en casos de conectividad podría circular por éste. Para fines del estudio, se decidió realizar las simulaciones por el tipo de

camino autorizado con mayores restricciones, que es el camino tipo C y en el camino tipo D, para tomar en cuenta el aspecto de conectividad.

Para cada tipo de camino se eligieron 6 radios representativos para evaluar sus valores de ampliación; en la Tabla 3 se muestran los radios utilizados para cada tipo de camino, con base en los valores autorizados en la Norma de Proyecto Geométrico [5]. Estos radios se eligieron de tal manera que estuvieran distribuidos a lo largo de todos los radios permitidos para cada camino, excluyendo los más grandes e incluyendo el mínimo.

Tabla 3 – Radios elegidos por tipo de camino para realizar las simulaciones.

Tipo de camino			
A	B	C	D
Radio (m)			
572.96	381.97	458.37	127.32
416.70	254.65	286.48	95.49
352.59	143.24	163.70	71.62
269.63	104.17	76.39	60.31
208.35	81.85	54.57	52.09
152.79	67.41	38.20	38.20

6. REALIZACIÓN DE LAS SIMULACIONES Y RESULTADOS

En las Tablas 4 a 9 se muestran los resultados del ancho de barrido obtenidos para los vehículos representativos en los tipos de camino y radios antes mencionados. En las tablas se puede observar que la fila superior indica el tipo y ancho en tangente del camino y el vehículo representativo con el cual se hicieron las simulaciones. La columna 1 muestra los 6 radios elegidos para el tipo de camino, como se mencionó en el apartado anterior; la columna 2 contiene la ampliación por carril especificada para cada radio de curvatura y velocidad indicadas en la Norma de Proyecto Geométrico [5]; la columna 3 muestra la suma del ancho de carril en tangente más la ampliación (columna 2); las columnas de 4 a 6 presenta el ancho de barrido obtenido con el programa AutoTURN para los 6 radios en cada deflexión; la columna 7 presenta la distancia libre entre vehículos (C) correspondiente al tipo de camino; la columna 8 muestra el ancho adicional por dificultades de maniobra (Z) para cada radio, estas variables son consideradas por AASHTO [8]; de la columna 9 a la 11 se presenta la suma de los valores de las columnas 4 a 6 más las variables de maniobra (C y Z) correspondientes a cada deflexión; y la columna 12 muestra el valor del ancho de carril con ampliación correspondiente según el método de cálculo por AASHTO [8].

Se puede apreciar en las tablas que los resultados presentados en las columnas 9 a 11, ancho de barrido más variables, cubren con los requerimientos necesarios de espacio de cada tipo de vehículo representativo para circular con seguridad por las curvas especificadas; la columna 3 nos indica el espacio proporcionado por la vía bajo el criterio de la normativa actual; y la columna 12 es un valor de referencia de la normativa internacional para comparar los dos resultados anteriores.

Tabla 4 – Resultados del vehículo T3S2R4-35 en camino Tipo B.

Camino Tipo B			Ancho de carril 3.5 m			Vehículo representativo T3S2R4-35					
Características Geométricas			Ancho de barrido con programa AutoTURN (m)			Variables para mejorar la maniobra (m)		Ancho de barrido más variables (m)			Ancho con Método AASHTO (m)
Radio (m)	Ampliación por carril (m)	Ancho de carril más ampliación (m)	Deflexión			C	Z	Deflexión			
			60°	90°	130°			60°	90°	130°	
381.97	0.20	3.70	2.62	2.62	2.62	0.83	0.13	3.58	3.58	3.58	3.59
254.65	0.25	3.75	2.73	2.73	2.73		0.16	3.72	3.72	3.72	3.74
143.24	0.35	3.85	3.01	3.01	3.01		0.21	4.05	4.05	4.05	4.07
104.17	0.45	3.95	3.26	3.26	3.26		0.24	4.33	4.33	4.33	4.34
81.85	0.55	4.05	3.50	3.51	3.51		0.28	4.61	4.62	4.62	4.61
67.41	0.65	4.15	3.72	3.76	3.76		0.30	4.85	4.89	4.89	4.88

Tabla 5 – Resultados del vehículo T3S2R4-35 en camino Tipo C.

Camino Tipo C			Ancho de carril 3 m			Vehículo representativo T3S2R4-35					
Características Geométricas			Ancho de barrido con programa AutoTURN (m)			Variables para mejorar la maniobra (m)		Ancho de barrido más variables (m)			Ancho con Método AASHTO (m)
Radio (m)	Ampliación por carril (m)	Ancho de carril más ampliación (m)	Deflexión			C	Z	Deflexión			
			60°	90°	130°			60°	90°	130°	
458.37	0.20	3.20	2.59	2.59	2.59	0.58	0.09	3.26	3.26	3.26	3.27
286.48	0.25	3.25	2.70	2.70	2.70		0.12	3.40	3.40	3.40	3.41
163.70	0.35	3.35	2.93	2.93	2.93		0.16	3.67	3.67	3.67	3.69
76.39	0.55	3.55	3.59	3.59	3.59		0.23	4.40	4.40	4.40	4.40
54.57	0.70	3.70	4.03	4.09	4.10		0.27	4.88	4.94	4.95	4.92
38.20	0.95	3.95	4.49	4.78	4.87		0.32	5.39	5.68	5.77	5.73

Tabla 6 – Resultados del vehículo representativo T3S2-48 en camino Tipo B.

Camino Tipo B			Ancho de carril 3.5 m			Vehículo representativo T3S2-48					
Características Geométricas			Ancho de barrido con programa AutoTURN (m)			Variables para mejorar la maniobra (m)		Ancho de barrido más variables (m)			Ancho con Método AASHTO (m)
Radio (m)	Ampliación por carril (m)	Ancho de carril más ampliación (m)	Deflexión			C	Z	Deflexión			
			60°	90°	130°			60°	90°	130°	
381.97	0.20	3.70	2.58	2.58	2.58	0.83	0.13	3.54	3.54	3.54	3.55
254.65	0.25	3.75	2.67	2.67	2.67		0.16	3.66	3.66	3.66	3.68
143.24	0.35	3.85	2.90	2.90	2.90		0.21	3.94	3.94	3.94	3.95
104.17	0.45	3.95	3.11	3.11	3.11		0.24	4.18	4.18	4.18	4.18
81.85	0.55	4.05	3.31	3.32	3.32		0.28	4.42	4.43	4.43	4.41
67.41	0.65	4.15	3.5	3.53	3.53		0.30	4.63	4.66	4.66	4.64

Tabla 7 – Resultados del vehículo representativo T3S2-48 en camino Tipo C.

Camino Tipo C			Ancho de carril 3 m			Vehículo representativo T3S2-48					
Características Geométricas			Ancho de barrido con programa AutoTURN (m)			Variables para mejorar la maniobra (m)		Ancho de barrido más variables (m)			Ancho con Método AASHTO (m)
Radio (m)	Ampliación por carril (m)	Ancho de carril más ampliación (m)	Deflexión					Deflexión			
			60°	90°	130°	C	Z	60°	90°	130°	
458.37	0.20	3.20	2.55	2.55	2.55		0.09	3.22	3.22	3.22	3.23
286.48	0.25	3.25	2.64	2.64	2.64		0.12	3.34	3.34	3.34	3.36
163.70	0.35	3.35	2.83	2.83	2.83	0.58	0.16	3.57	3.57	3.57	3.59
76.39	0.55	3.55	3.39	3.39	3.39		0.23	4.20	4.20	4.20	4.18
54.57	0.70	3.70	3.76	3.81	3.81		0.27	4.61	4.66	4.66	4.62
38.20	0.95	3.95	4.15	4.38	4.45		0.32	5.05	5.28	5.35	5.28

Tabla 8 – Resultados de la simulación del vehículo C3-14 en camino Tipo C.

Camino Tipo C			Ancho de carril 3 m			Vehículo representativo C3-14					
Características Geométricas			Ancho de barrido con programa AutoTURN (m)			Variables para mejorar la maniobra (m)		Ancho de barrido más variables (m)			Ancho con Método AASHTO (m)
Radio (m)	Ampliación por carril (m)	Ancho de carril más ampliación (m)	Deflexión					Deflexión			
			60°	90°	130°	C	Z	60°	90°	130°	
458.37	0.20	3.20	2.39	2.39	2.39		0.09	3.06	3.06	3.06	3.16
286.48	0.25	3.25	2.45	2.45	2.45		0.12	3.15	3.15	3.15	3.24
163.70	0.35	3.35	2.56	2.56	2.56	0.58	0.16	3.30	3.30	3.30	3.39
76.39	0.55	3.55	2.85	2.85	2.85		0.23	3.66	3.66	3.66	3.74
54.57	0.70	3.70	3.06	3.07	3.07		0.27	3.91	3.92	3.92	4.00
38.20	0.95	3.95	3.30	3.39	3.40		0.32	4.20	4.29	4.30	4.38

Tabla 9 – Resultados de la simulación del vehículo C3-14 en camino Tipo D.

Camino Tipo D			Ancho de carril 3 m			Vehículo representativo C3-14					
Características Geométricas			Ancho de barrido con programa AutoTURN (m)			Variables para mejorar la maniobra (m)		Ancho de barrido más variables (m)			Ancho con Método AASHTO (m)
Radio (m)	Ampliación por carril (m)	Ancho de carril más ampliación (m)	Deflexión					Deflexión			
			60°	90°	130°	C	Z	60°	90°	130°	
127.32	0.30	3.30	2.63	2.63	2.63		0.18	3.39	3.39	3.39	3.48
95.49	0.40	3.40	2.74	2.74	2.74		0.20	3.52	3.52	3.52	3.61
71.62	0.45	3.45	2.89	2.89	2.89	0.58	0.24	3.71	3.71	3.71	3.79
60.31	0.50	3.50	3.00	3.00	3.00		0.26	3.84	3.84	3.84	3.92
52.09	0.55	3.55	3.11	3.11	3.11		0.28	3.97	3.97	3.97	4.05
38.20	0.70	3.70	3.38	3.40	3.40		0.32	4.28	4.30	4.30	4.38

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con las dimensiones actuales de los vehículos que integran el autotransporte federal y el efecto que éstas tienen en la Red Carretera Federal se puede concluir que, las dimensiones de los vehículos autorizados a circular actualmente sobrepasan en muchos casos las características geométricas de las carreteras.

Con estos resultados queda demostrado que los vehículos de carga que circulan actualmente con dimensiones de largo total inferiores al máximo permitido por la NOM-012, exceden las condiciones de diseño de los diferentes tipos de caminos que conforman la Red Carretera Federal.

Se recomienda actualizar y aumentar las ampliaciones especificadas en la Norma de Proyecto Geométrico, es decir, que éstas se obtengan para vehículos actuales y de acuerdo con el camino que se está proyectando, considerando la configuración y dimensiones de los vehículos que vayan a circular.

Con valores actualizados, se obtendrá una mayor seguridad vial en los nuevos caminos que se construyan y en los existentes que se modernicen, así como de permitir a las empresas del autotransporte buscar nuevas tecnologías de sus equipo que no tengan un impacto negativo en la infraestructura y que contribuyan a mejorar su competitividad desarrollándose y expandiéndose hacia el comercial internacional.

RECONOCIMIENTOS

Esta investigación fue financiada con fondos de la Red Temática de Accidentes Viales (Número 253411), como parte del programa de Redes Temáticas 2015 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT).

REFERENCIAS

1. Robusté, F. (2005). Logística del Transporte. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Catalunya. pág. 197.
2. SCT. (2014). Estadística Básica del Autotransporte Federal 2013. México, D.F.: Dirección General de Autotransporte Federal, Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
3. Gutiérrez Hernández J. L. y Soria Anguiano V. J. (2014). Análisis Estadístico de la Información Recopilada en las Estaciones Instaladas en 2013. Documento Técnico No. 58. Sanfandila, Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte.
4. SCT. (2008). NOM-012-SCT-2-2008, Sobre el Peso y Dimensiones Máximas con los que pueden Circular los Vehículos de Autotransporte que Transitan en las Vías Generales de Comunicación de Jurisdicción Federal. México, D.F.: Dirección General de Autotransporte Federal, Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
5. SCT. (1984). Libro 2, Normas de Servicios Técnicos, Parte 2.01 Proyecto Geométrico. México, D.F.: Dirección General de Servicios Técnicos. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
6. SAHOP. (1977). Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. México, D.F.: Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.
7. TranSoft Solutions. (2013). AutoTURN V.8.1.
8. AASHTO. (2011). A Policy on Geometric Design of Highway and Streets. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
9. ANPACT. (2006). Anuario de Vehículos de Autotransporte. México, D.F.: Asociación Nacional de Productores de Autobuses, Camiones y Tractocamiones.

ANÁLISIS NORMATIVO DE LA CONEXIÓN DOLLY-REMOLQUE EN EL AUTOTRANSPORTE PÚBLICO FEDERAL

J. CHAVARRÍA

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

ichavarria@imt.mx

RESUMEN

Las combinaciones de vehículos de carga T3-S2-R4, llamados comúnmente “fulles”, son una alternativa del autotransporte para mover una mayor cantidad de carga. Actualmente a esta configuración doblemente articulada se le permite un Peso Bruto Vehicular (PVB) máximo de 66.5 ton y una longitud total máxima de 31 metros; adicionalmente, si cumplen con ciertas características técnicas y de seguridad exigidas dentro de la Norma de Pesos y Dimensiones vigente, pueden incrementar su peso hasta 75.5 ton.

Estas características (mayor peso, largo y número de articulaciones), bajo ciertas circunstancias, hacen que se ponga en riesgo la estabilidad del vehículo y pueda darse el desprendimiento del segundo remolque. El presente trabajo tiene como objetivo mostrar algunos aspectos relevantes de las regulaciones existentes sobre la fabricación y uso de los sistemas de conexión de ese segundo remolque, y evalúa la necesidad emitir una Norma Oficial Mexicana al respecto y emite las recomendaciones al respecto.

Los factores que afectan la estabilidad del vehículo, en este caso de una configuración doblemente articulada, y que lo hacen más propenso a un vuelco, son la altura del centro de gravedad; la magnitud y distribución de la carga; la longitud de los remolques; la geometría de la carretera; la velocidad de circulación; la habilidad del conductor; el número de articulaciones y el tipo de conexión del segundo remolque.

El vuelco de un vehículo suele definirse como una rotación respecto a su eje longitudinal, al eje transversal o una combinación de ambos. Existen diversas formas de producirse un vuelco, pero a grandes rasgos, un vuelco puede darse por condicionantes dinámicas o por condicionantes geométricas de la vía.

Adicionalmente, en las configuraciones vehiculares doblemente articuladas, como el caso del «full», se presenta el fenómeno de la ampliación de la aceleración lateral, particularmente en la parte trasera de la configuración (segundo remolque), lo cual aumenta el riesgo de su desprendimiento. Esta situación ocurre cuando el conductor realiza una maniobra evasiva repentina, o un inesperado movimiento direccional, que hace el último remolque reaccione violentamente; el desprendimiento también puede presentarse durante la circulación del vehículo en curva, sobre todo si la aceleración lateral que se produce, bajo determinadas situaciones, supera el umbral de vuelco del vehículo.

Adicionalmente, en las configuraciones vehiculares doblemente articuladas, como el caso del «full», se presenta el fenómeno de la ampliación de la aceleración lateral, particularmente en la parte trasera de la configuración (segundo remolque), lo cual aumenta el riesgo de su desprendimiento. Esta situación ocurre cuando el conductor realiza una maniobra evasiva repentina, o un inesperado movimiento direccional, que hace el último remolque reaccione violentamente; el desprendimiento también puede presentarse durante la circulación del vehículo en curva, sobre todo si la aceleración

lateral que se produce, bajo determinadas situaciones, supera el umbral de vuelco del vehículo.

La conexión entre el semirremolque y el remolque en una configuración doblemente articulada, se lleva a cabo mediante un convertidor, comúnmente llamado «dolly», el cual cuenta con ojillos que se acoplan al gancho pinzón del semirremolque para generar el arrastre; en la parte superior portan una quinta rueda, que es el plato de enganche del segundo remolque. Existen convertidores tipo «A» y convertidores tipo «H», algunos con ejes direccionales para minimizar el arrastre, y ambos tienen un comportamiento muy distinto en relación con la estabilidad que ofrecen al vehículo.

En este sentido, el artículo hace un análisis del comportamiento de ambos tipos de convertidores, verifica los elementos normativos existentes en las regulaciones de transporte existentes en México sobre su uso y especificaciones técnicas de fabricación así como las normativas internacionales y hace las recomendaciones al respecto; todo ello, en virtud de la preocupación existente en las autoridades de transporte del país, por la frecuente ocurrencia de accidentes de este tipo de vehículos debido a estas circunstancias (el desprendimiento del segundo remolque), los cuales suelen ser accidentes muy severos y de alta repercusión mediática.

1. INTRODUCCIÓN

Las combinaciones de vehículos de carga T3-S2-R4, llamados comúnmente “fulles”, son una alternativa del autotransporte para mover una mayor cantidad de carga. Actualmente a esta configuración doblemente articulada se le permite un Peso Bruto Vehicular (PVB) máximo de 66.5 ton y una longitud total máxima de 31 metros; adicionalmente, si cumplen con ciertas características técnicas y de seguridad exigidas dentro de la Norma de Pesos y Dimensiones vigente, pueden incrementar su peso hasta 75.5 ton [1].

Estas características (mayor peso, largo y número de articulaciones), bajo ciertas circunstancias, hacen que se ponga en riesgo la estabilidad del vehículo y pueda darse el desprendimiento del segundo remolque.

En la Figura 1 se aprecia una configuración vehicular tipo T3-S2-R4 (full), la cual es una configuración vehicular compuesta por una unidad tractora, un primer semirremolque de dos o tres ejes conectado mediante el mecanismo de quinta rueda (QR) a la unidad tractora (Figura 2), un tercer vehículo de dos ejes denominado “Dolly” el cual se acopla al primer semirremolque mediante un enganche tipo “A” o “C” y un segundo remolque, conectado al semirremolque mediante convertidor o dolly (Figura 3).



Figura 1. Configuración Doblemente Articulada T3-S2-R4 (FULL)



Figura 2. Quinta Rueda

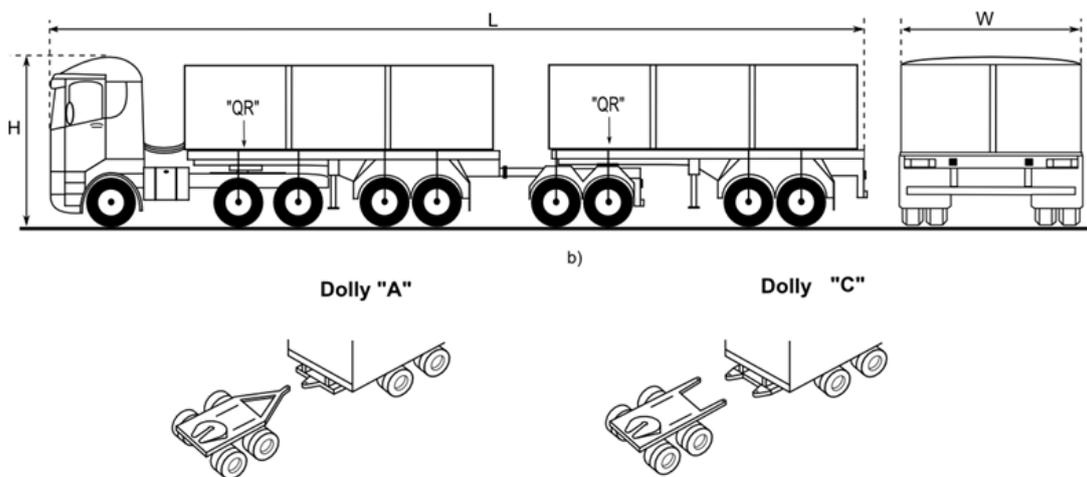


Figura 3. Convertidores Tipo “A” y Tipo “C”

2. FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DEL VEHÍCULO

Los factores que afectan la estabilidad del vehículo, en este caso de una configuración doblemente articulada, y que lo hacen más propenso a un vuelco, son la altura del centro de gravedad; la magnitud y distribución de la carga; la longitud de los remolques; la geometría de la carretera; la velocidad de circulación; la habilidad del conductor; el número de articulaciones y el tipo de conexión del segundo remolque.

2.1. El Vuelco

El vuelco de un vehículo suele definirse como una rotación respecto a su eje longitudinal, al eje transversal o una combinación de ambos. Existen diversas formas de producirse un vuelco, pero a grandes rasgos, un vuelco puede darse por condicionantes dinámicas o por condicionantes geométricas de la vía.

Este tipo de condicionantes generan situaciones en las que la acción de una fuerza produce una aceleración lateral que hace volcar al vehículo. Existen dos tipos de maniobras que pueden ocasionar la volcadura de un vehículo; una maniobra evasiva y la circulación por una curva.

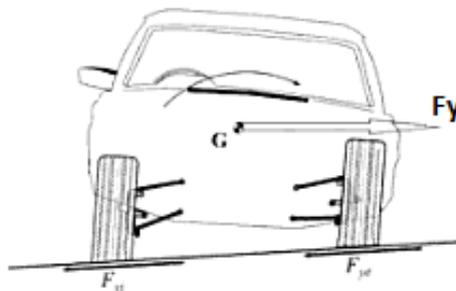


Figura 4. Fuerza que Produce la Aceleración Lateral

Adicionalmente, en las configuraciones vehiculares doblemente articuladas, como «full», se presenta el fenómeno de la ampliación de la aceleración lateral, particularmente en la parte trasera de la configuración (segundo remolque), lo cual aumenta el riesgo de su desprendimiento. Esta situación ocurre cuando el conductor realiza una maniobra evasiva repentina, o un inesperado movimiento direccional, que hace el último remolque reaccione violentamente; el desprendimiento también puede presentarse durante la circulación del vehículo en curva, sobre todo si la aceleración lateral que se produce, bajo determinadas situaciones, supera el umbral de vuelco del vehículo.

En la investigación de accidentes, las características del vuelco (posición, trayectoria, velocidad, fuerzas que lo provocan, impactos en el entorno, etc.) suelen ser importantes para determinar sus causas, así como la identificación del origen de la fuerza lateral causante del vuelco.

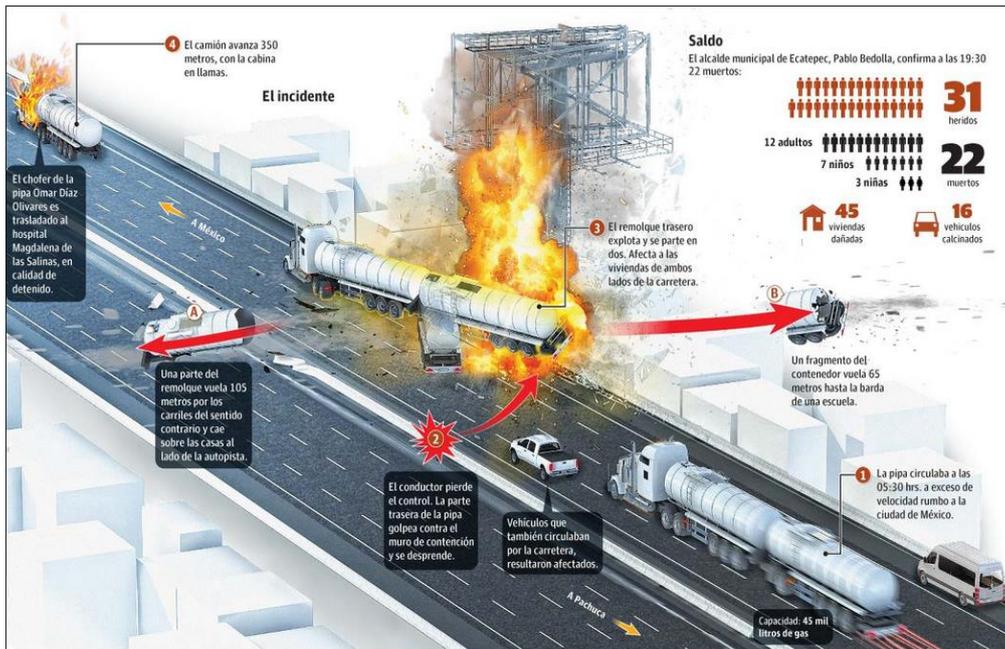


Figura 5. Accidente con Desprendimiento del Segundo Remolque

3. TIPOS DE CONEXIÓN EN CONFIGURACIONES DE DOBLEMENTE ARTICULADAS

La conexión entre el semirremolque y el remolque en una configuración doblemente articulada, se lleva a cabo mediante un convertidor, comúnmente llamado «dolly», el cual cuenta con ojillos que se acoplan al gancho pinzón del semirremolque para generar el arrastre; en la parte superior portan una quinta rueda, que es el plato de enganche del segundo remolque. Existen convertidores tipo «A» y convertidores tipo «H», algunos con ejes direccionales para minimizar el arrastre.

3.1 Convertidor Tipo “H”

El dolly tipo «H» recorta la distancia entre los remolques hasta en 35 centímetros, debido a que no cuenta con lanza; pero su ventaja principal es que ofrece mayor estabilidad a la configuración en giros de pánico o giros cerrados.

Dentro de las desventajas del dolly tipo «H» es que genera mayores esfuerzos en la estructura del remolque; genera mayores arrastres, y por ende mayor consumo de llantas; no hay tolerancia entre la altura de los ojillos y la altura del gancho pinzón, pero sobre todo, que la configuración requiere mayor espacio al circular en una curva.

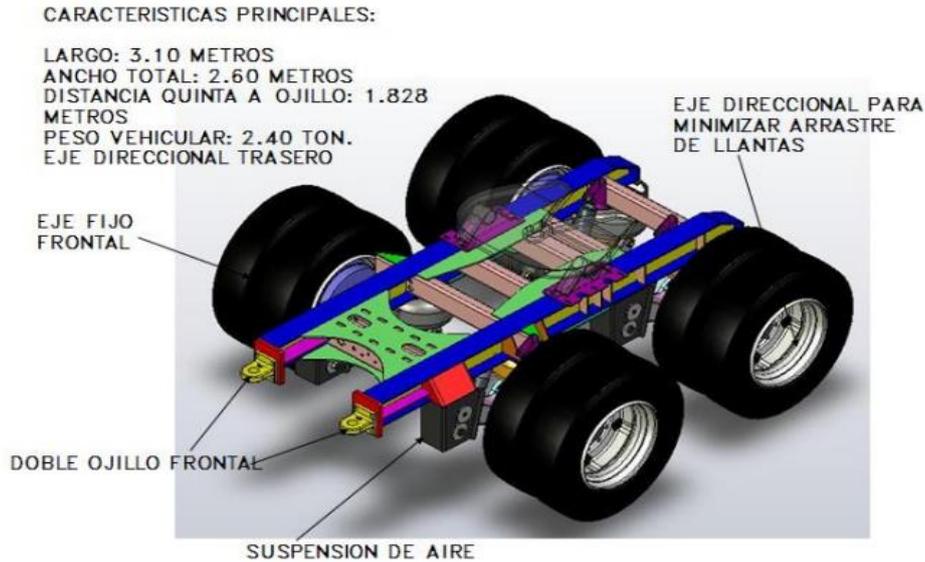


Figura 6. Convertidor Tipo “H”

3.2 Convertidor Tipo “A”

El dolly tipo «A» es el convertidor mayormente utilizado. Cuenta con una lanza basculante con un solo ojillo, la cual se adapta a la altura del gancho pinzón; permite mayor giro de la configuración, dado que en si mismo el convertidor es una articulación, adicional a la articulación de la quinta rueda.

Otras ventajas que ofrece el dolly tipo «A», es que le generan menor sufrimiento del remolque frontal al tener dos puntos de giro; son más maniobrables en espacios reducidos, por lo que se recomiendan para su uso en patios de maniobras; y el consumo de llantas es menor. Las desventajas es que crece la distancia entre remolques y son demasiado inestables en giros de pánico o maniobras evasivas, sobre todo el segundo remolque.

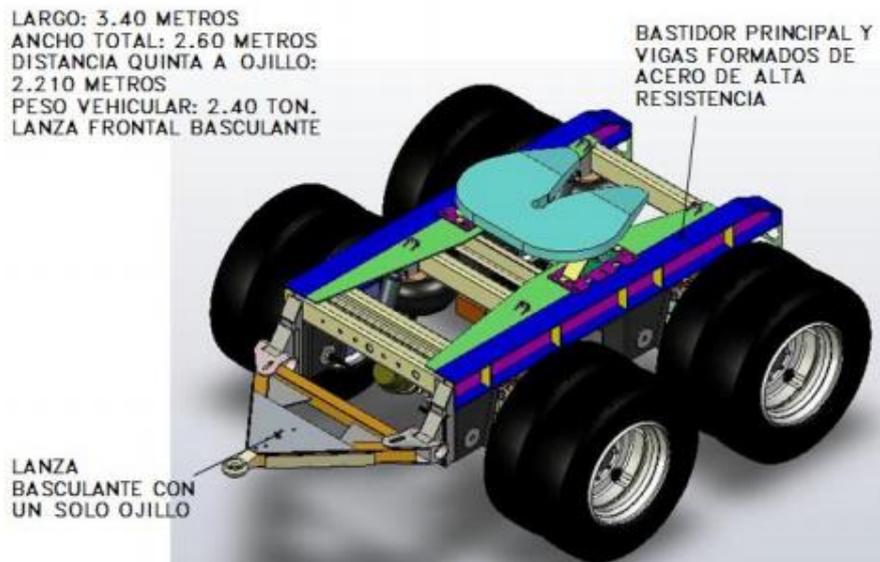


Figura 7. Convertidor Tipo “A”

4. LEGISLACIÓN SOBRE LA FABRICACIÓN Y LA OPERACIÓN DEL DOLLY

4.1. Legislación Nacional

Los ordenamientos jurídicos que regulan la operación del autotransporte público federal en México, contemplan prácticamente la totalidad las especificaciones técnicas y de seguridad sobre la fabricación y operación del dolly que normalmente se contemplan en la legislación internacional. Así, se tiene por ejemplo que la Norma Oficial Mexicana NOM 012-SCT-2-2014 sobre el peso y las dimensiones máximas, contempla la obligatoriedad para las configuraciones doblemente articuladas, entre ellas el «full», de equipar con doble cadena de seguridad al convertidor, cuando se accede al beneficio del numeral 6.1.2.2 de la Norma (vehículos diferenciados, que pueden incrementar el PBV máximo en 1.5 toneladas por eje motriz y 1.0 ton por eje de carga, para circular exclusivamente en caminos tipo «ET» y «A», o bien cuando se obtiene un permiso de conectividad). Por su parte, Norma Oficial Mexicana NOM 035-SCT-2-2010 [2], Remolques y semirremolques; especificaciones de seguridad y métodos de prueba, establece la capacidad mínima de arrastre de los elementos que conforman en convertidor (ojillos, lanza, bisagra, bastidor, quinta rueda, plato de enganche, perno rey, etc.) equivalente a 40,000 kg., e incluye también la resistencia a la ruptura de las cadenas de seguridad a las que hace referencia la NOM-012-SCT-2-2014, así como también la resistencia estructural de los bastidores que conforman el convertidor, que les permita soportar un momento horizontal de 38,100 kg-m y un momento vertical de 50,400 kg-m. Finalmente, la NOM-068-SCT-2-2014[3] sobre las condiciones físico mecánicas de los vehículos del autotransporte incluye como criterios para sacar de la circulación a las configuraciones cuyos componentes y mecanismos de enganche del dolly presenten agrietas o evidencias de estar rotos, doblados, trabados, con aparente desgaste o bien reparados (soldados).

4.1. Legislación Internacional

En la legislación internacional, a diferencia de la legislación nacional, únicamente se pudo encontrar la especificación que establece la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE), relacionada con la altura a la que debe estar posicionado el centro del enganche del gancho pinzón, en el plato de arrastre en el semirremolque (33 pulgadas desde el piso en vehículos sin carga, con una tolerancia de más menos 2 pulgadas) [4].

5. CONCLUSIONES

Del análisis realizado se desprende que no es necesario una NOM específica para la fabricación y operación del dolly; las disposiciones normativas existentes son suficientes. Si acaso, es necesario establecer claramente en alguno de los elementos normativos existentes, la NOM-035-SCT-2-2010 parece el más indicado, la regulación sobre la altura a la que debe estar posicionado el centro del enganche del gancho pinzón, en el plato de arrastre en el semirremolque y establecer la prohibición expresa de la circulación de configuraciones con dolly hechizo y/o reparado.

RECONOCIMIENTOS

Esta investigación fue financiada con fondos de la Red Temática de Accidentes Viales (Número 253411), como parte del programa de Redes Temáticas 2015 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT).

REFERENCIAS

- 1.- Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2014 Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal; Secretaría de Comunicaciones y Transportes; Diario Oficial de la Federación, noviembre de 2014.
- 2.- Norma Oficial Mexicana NOM 035-SCT-2-2010 Remolques y semirremolques-Especificaciones de seguridad y métodos de prueba; Secretaría de Comunicaciones y Transportes; Diario Oficial de la Federación, septiembre de 2015.
- 3.- Norma Oficial Mexicana NOM 068-SCT-2-2014 Transporte terrestre-Servicio de autotransporte federal de pasaje, turismo, carga, sus servicios auxiliares y transporte privado-Condiciones físico-mecánica y de seguridad para la operación en vías generales de comunicación de jurisdicción federal; Secretaría de Comunicaciones y Transportes; Diario Oficial de la Federación, enero de 2015.
- 4.- Penteado, R. M. 2005a. “Estabilidad Lateral de Conjuntos de Vehículos de Carga”; Sociedad Americana de Ingenieros.

ANÁLISIS SUSTITUTOS DE ACCIDENTALIDAD APLICANDO MICROSIMULACIÓN DE TRÁFICO.

M. L. DORADO

Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte, Instituto Mexicano del Transporte
mdorado@imt.mx

M.A. MARTINEZ & R. ORTEGA

Universidad Autónoma de Querétaro
ingmmtz1@gmail.com, rortegac28@gmail.com

RESUMEN

La manera habitual de determinar el nivel de seguridad de una intersección o de un punto en específico de la vialidad es a través del análisis de los reportes de accidentes que se emiten por parte de las autoridades correspondientes cuando se presenta un siniestro en algún punto de la carretera en su jurisdicción. Dicho método requiere de varios años de análisis y recopilación para poder añadir un punto donde se presentan cantidades importantes de accidentes con altos índices de morbilidad y mortalidad a la lista de “puntos negros” registrados de una zona en particular. Asimismo dicho método presenta otras desventajas al no considerar todos los accidentes menores que pudieran presentarse en dicho punto de conflicto. Se presentan en este trabajo una alternativa a dicho método tradicional el cual utiliza microsimulación de tráfico para poder tomar en consideración las interacciones que se presentan entre los automóviles y determinar si existe la probabilidad de ocurrencia de un accidente. Se presentan experiencias internacionales y resultados de comparativas entre los métodos tradicionales y los métodos sustitutos de accidentalidad.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2004), se estima que cada año en el mundo mueren 1.2 millones de personas a causa de choques en la vía pública y 50 millones resultan heridas. Dicha organización también reporta que para el año 2030 se espera que las muertes por accidentes viales en países de bajos a medios ingresos sean la cuarta causa de muerte entre la población.

Adquirir un mejor entendimiento de los factores que afectan la probabilidad de un accidente vial ha sido un área de investigación clave durante mucho tiempo (Lord y Mannering, 2010). Sin lugar a dudas es necesario contar con herramientas y metodologías que puedan ayudar a enfrentar el problema y actuar de manera proactiva para erradicar el problema en las zonas más vulnerables del sistema vial. Actualmente existen herramientas que se emplean para modelar de manera indirecta el número de accidentes esperados por tipo de instalación vial. Dichos modelos pueden ser modelos de regresión lineal generalizados y combinaciones de estos y se desarrollan a partir del histórico de las bases de datos generadas por los reportes o partes de accidentes y utilizan variables tales como el volumen promedio anual de circulación de vehículos y características geométricas de la vialidad, entre otros. La idea principal es realizar una correlación entre estas variables y el número de accidentes que se presentan en la vía para así poder generar un modelo lineal generalizado para predecir el número y tipos de accidentes que se pudieran presentar en dicha vialidad. Los modelos más comúnmente

utilizados son los binomiales, Poisson-gamma, Poisson inflado con ceros, beta-binomial y modelos multinomiales mezclados (Lord y Mannering, 2010). Al tomar como base el histórico de los reportes de accidentes generados para el sitio en cuestión, es necesario contar con un elevado número de años en los que se haya reportado todos los accidentes presentados en el sitio, lo cual muchas veces no es posible debido a la naturaleza esporádica e infrecuente de los accidentes viales. Además, las bases de datos suelen estar incompletas ya que los accidentes menores no son reportados, lo que reduce la confiabilidad de los modelos de predicción que utilizan el histórico de los accidentes (Parker and Zegeer, 1989). Aparte de los problemas de los sesgos de la información de accidentes, no es posible determinar con algún método directo el nivel de seguridad que se pudiera presentar en una instalación de reciente creación, ya que solamente se podría tener una idea al realizar comparaciones con otros sitios de configuraciones similares.

2. CONFLICTOS VEHÍCULARES Y ACCIDENTES DE TRÁFICO

Existen estudios que han demostrado que existe una estrecha relación entre accidentes y conflictos vehiculares. Lo anterior se cumple ya que el proceso entre accidentes y conflictos graves es idéntico. Un conflicto vehicular se define como una situación en la que 2 o más usuarios de la vía se aproximan entre ellos en tiempo y espacio a tal grado de que existe un riesgo de colisión si sus direcciones y velocidades permanecen sin cambio. Se puede afirmar entonces que la diferencia entre los conflictos vehiculares y los accidentes es que los conflictos ocurren mucho más frecuentemente que los accidentes.

De acuerdo con Older y Shippey (1979) cualquier accidente puede describirse como una serie de eventos con una finita probabilidad de convertirse en accidente” (Figura 1).

Todos las interacciones vehiculares se pueden representar de manera piramidal, tal como lo ejemplifica Hydén (1984) en la Figura 2, en donde los conflictos leves se presentan en la parte inferior de la pirámide, siendo estos los de mayor frecuencia, y los conflictos serios que se representan en la punta de la pirámide, resultando algunos de estos conflictos serios en accidentes de consecuencias de morbilidad y mortalidad.

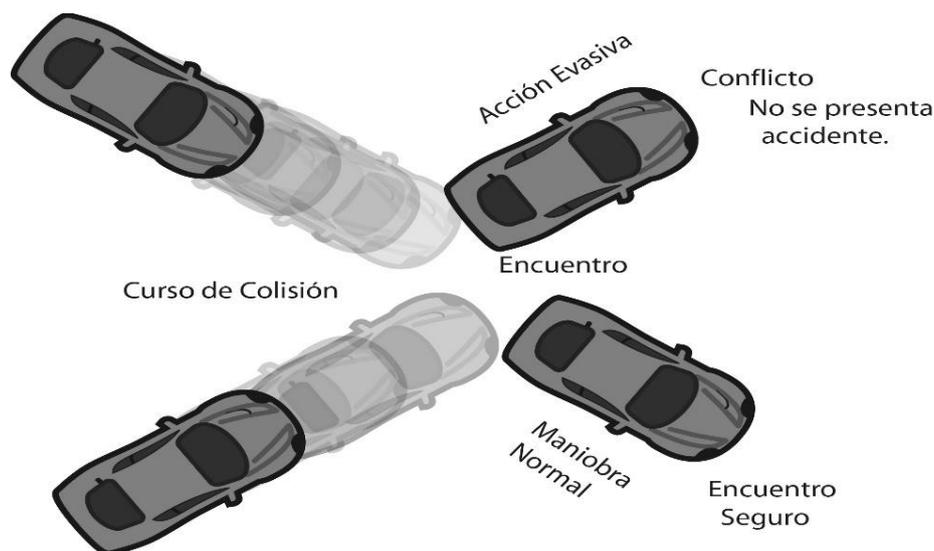


Figura 1. Secuencia de eventos de accidentes y conflictos serios.



Figura 2. Pirámide de conflictos de Hydén.

Dentro de los conflictos serios podemos encontrar: Tiempo para la Colisión (Time to Collision, TTC), Tiempo para el accidente (Time to Accident, TA), tiempo de invasión posterior (Post-Encroachment Time, PET), entre otros. El valor del tiempo para la colisión (TCC, por sus siglas en inglés) es el tiempo remanente hacia una colisión si los usuarios no modifican su velocidad ni su dirección. El valor del tiempo para el accidente es el valor que se utiliza para determinar si un conflicto es serio o moderado, y es un caso dentro del TCC. TA es el tiempo restante desde que la acción evasiva es llevada a cabo hasta que se pudiera haber presentado la colisión si ninguno de los usuarios hubiera continuado sin ningún cambio en la dirección y velocidad de sus vehículos. El PET es el tiempo entre la salida del vehículo que se incorpora a una vía desde el punto de conflicto hasta la llegada del vehículo con la preferencia en el punto de conflicto.

Estos conflictos se pueden apreciar con mayor detalle en las intersecciones en donde se presentan la mayoría de los conflictos antes mencionados, y de acuerdo con Caliendo y Guida (2012) es posible llevar a cabo análisis sustitutos de accidentalidad a través de la microsimulación de tráfico. El análisis de conflictos asume que estos son una cercana representación de la forma en que ocurren los accidentes, así que analizando dichos conflictos es posible predecir la ocurrencia de accidentes de manera más eficiente y sin tanto esfuerzo (Paddock 1974).

3. UTILIZACIÓN DE LA MICROSIMULACIÓN DE TRÁFICO PARA ANÁLISIS DE CONFLICTOS VEHICULARES

De acuerdo con la FHWA (2003), los accidentes suelen ser muchas veces casuales y aleatorios, lo cual en la mayoría de las ocasiones suele alentar el proceso de análisis de un sitio en estudio y realizar las recomendaciones pertinentes. Ante este hecho, la FHWA desarrolló un software denominado Surrogate Safety Assessment Model (SSAM), el cual combina la microsimulación de tráfico y el análisis automatizado de conflictos de tráfico, el cual analiza la frecuencia y el tipo de conflictos presentados en alguna intersección.

Para poder emplear esta técnica en acción, es necesario realizar una simulación con algún programa que sea capaz de guardar las trayectorias que los vehículos simulados realizaron durante el proceso del programa. Algunos de los programas capaces de

realizar esta tarea son: AIMSUN, Paramics, TEXAS y VISSIM. Asimismo, la FHWA emitió un reporte para realizar la validación de la técnica antes mencionada. Para el caso del programa de microsimulación AIMSUN, es necesario solicitar un plug-in a los desarrolladores del programa para que se puedan escribir las trayectorias en un archivo con extensión .trj. En dicho archivo, se encuentran de manera detallada las posiciones de los vehículos, aceleraciones y velocidades en cada paso de la simulación.

Una vez realizada la calibración y validación del modelo de una intersección, se aplica dicho plug-in para obtener las posiciones, velocidades y aceleraciones de los vehículos e insertarlas en la herramienta de análisis. Este software calcula las trayectorias de los vehículos y analiza asimismo las velocidades para determinar el tipo de conflicto de que se trata, si es que existiera alguno. El programa calcula el ángulo de aproximación entre 2 vehículos y determina el tipo de conflicto presentado, como se muestra en la Figura 3. En el caso de que el ángulo α sea mayor o igual que 45° se tratará de un conflicto de entrecruzamiento. Si α es menor o igual a 2° entonces el conflicto será del extremo posterior, en cualquier otro caso, será un conflicto de cambio de carril.

Estudios realizados por investigadores (Caliendo y Guida, 2012) tomando en cuenta esta técnica, han encontrado una alta correlación entre el número de conflictos serios y el número de accidentes presentados en los puntos analizados, concluyendo que estos enfoques de utilización de la microsimulación es una herramienta poderosa en el análisis del nivel de seguridad que presenta una intersección, sin necesidad que ocurran accidentes para evaluar dicho nivel de seguridad.

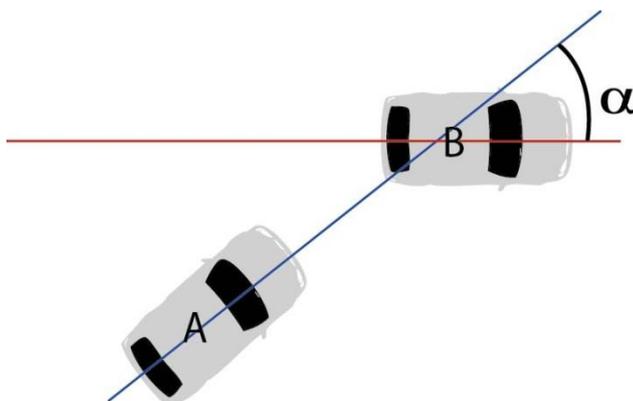


Figura 3. Tipos de conflicto de acuerdo con el ángulo de aproximación.

4. UTILIZACIÓN DE LA HERRAMIENTA SSAM PARA LA EVALUACIÓN DE UNA INTERSECCIÓN

Como parte de la presente investigación, se realizó el levantamiento de las características físicas, flujos, tiempos de semáforos y tipos de vehículos para realizar la microsimulación con el programa AIMSUN (2010) de la intersección localizada en el estado de Querétaro (Figura 4). Cabe mencionar que el levantamiento se realizó durante la hora de máxima demanda.

1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales
“Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas”

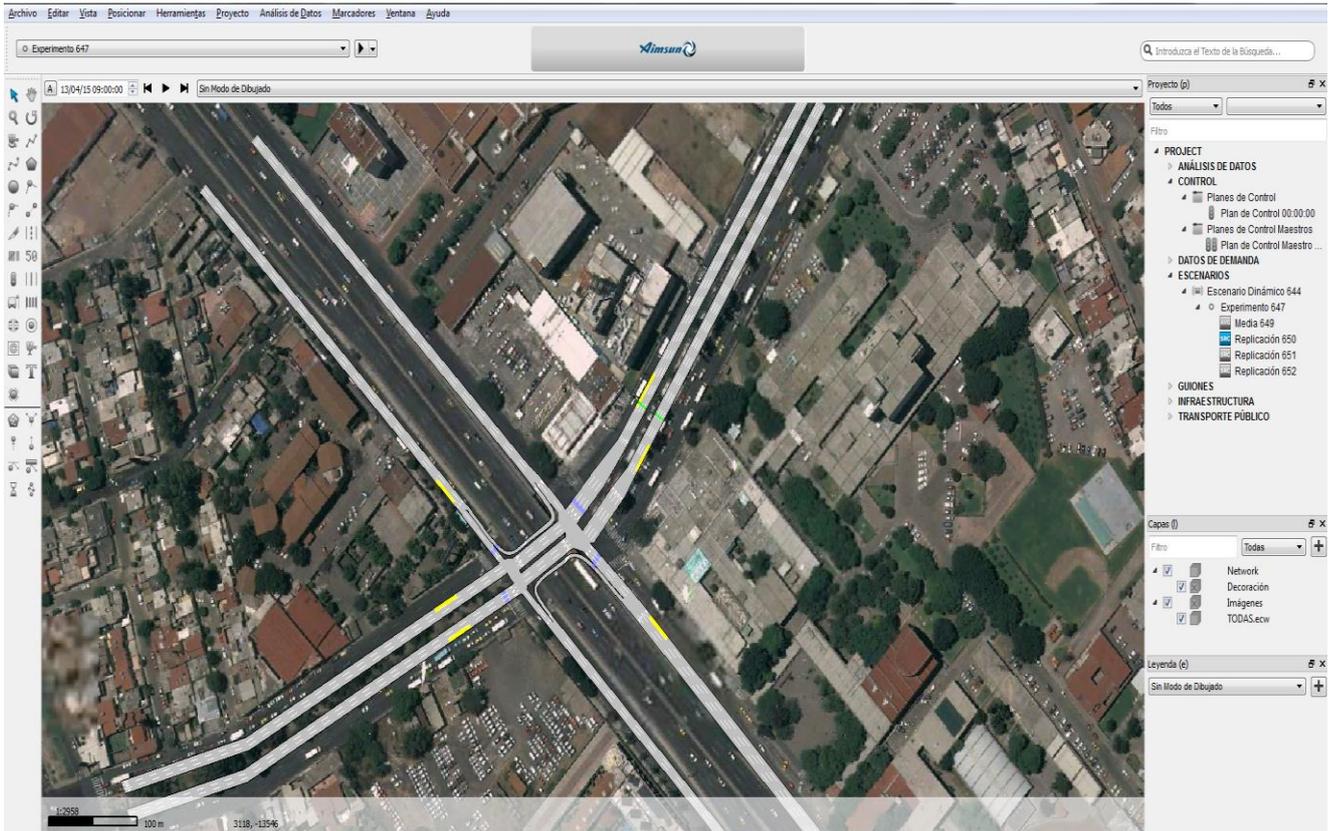


Figura 4. Intersección analizada en el programa AIMSUN.

Dentro de los conflictos que se pueden apreciar a simple vista, están los que se producen debido a la vuelta continua en rojo, permitida en el estado de Querétaro en el Reglamento de Tránsito en el artículo 62. Asimismo, se observa que los tiempos de semáforo propician de igual manera los conflictos entre vehículos.

Una vez realizada la calibración y validación por medio de contrastes estadísticos, se procedió a obtener las trayectorias de los vehículos mediante el módulo de grabación de trayectorias del programa, como se muestra en la Figura 5.

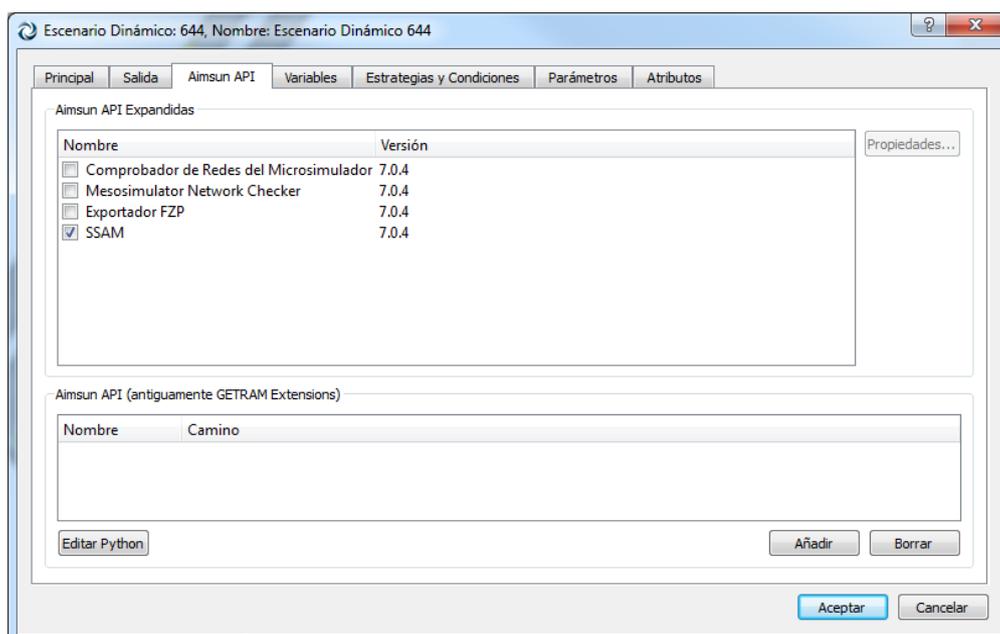


Figura 5. Módulo de escritura de trayectorias en AIMSUN.

Al término de la simulación obtenemos el archivo con las trayectorias de todos los vehículos y procedemos a importar los datos desde la herramienta SSAM Figura 6.

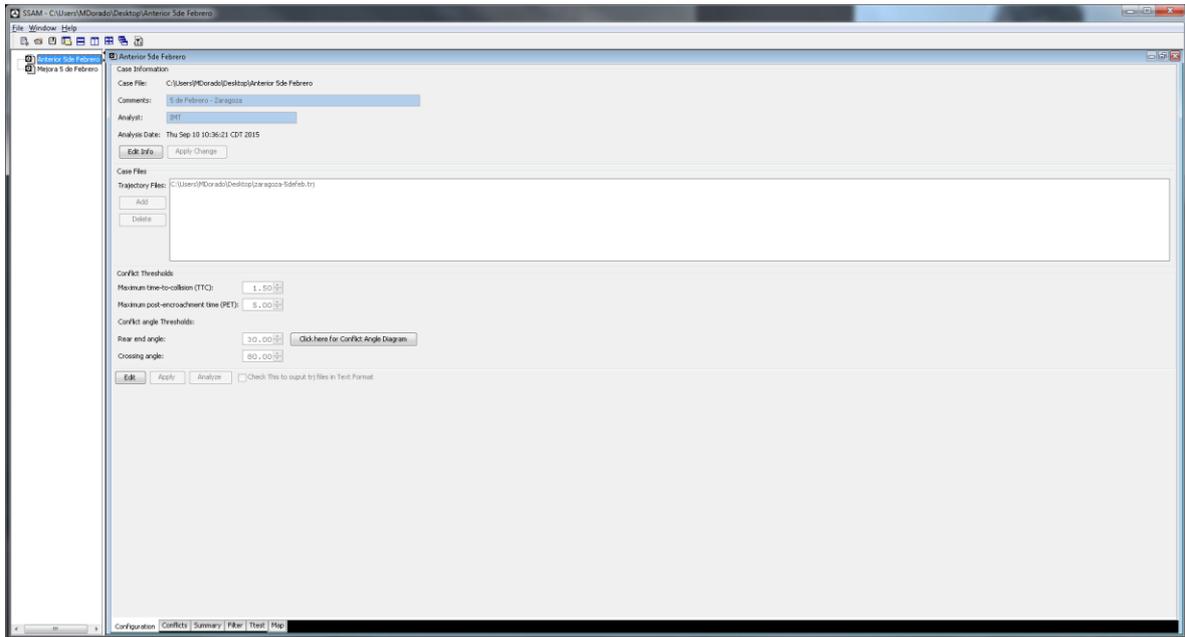


Figura 6. Importación de las trayectorias de los vehículos después de la simulación.

Al término del análisis obtenemos un resumen con el total de conflictos, que para el caso de la intersección analizada se obtuvieron los siguientes datos, mostrados en la Tabla 1:

Tabla1. Total de conflictos y su clasificación.

Total de Conflictos	Cruzamiento	Conflictos posteriores.	Conflicto de cambio de carril
1939	114	1497	328

Asimismo se obtuvo un mapa con los conflictos antes presentados, mostrados en la Figura 7.

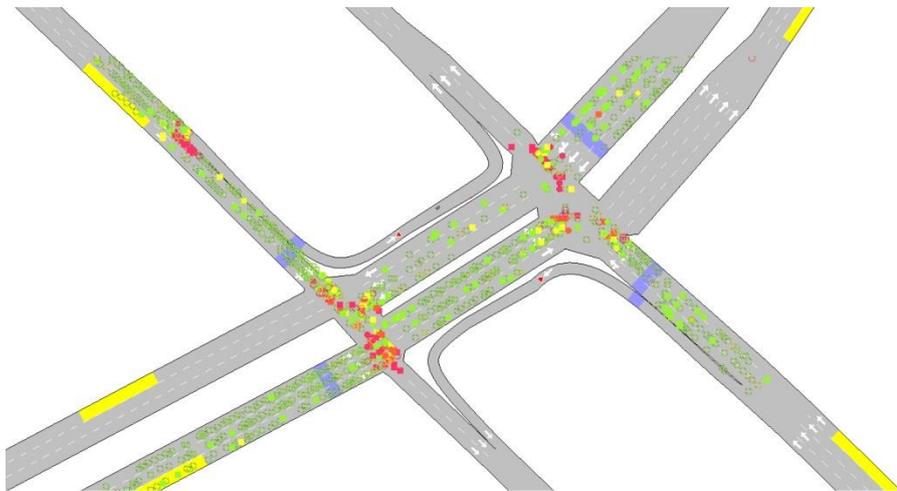


Figura 7. Mapa de los conflictos presentados.

En la Figura 7, se muestran en verde los tiempos para la colisión menor o igual que 1.5seg, en amarillo los tiempos menor o igual que un segundo, en naranja los tiempos menor o igual que 0.5 segundos y en rojo los tiempos iguales a cero. Se entiende entonces que los puntos en rojos son los conflictos que se entienden como accidentes en potencia.

Posteriormente, se realizó una mejora dentro del modelo de la intersección en los tiempos de los semáforos y se eliminó la vuelta continua a la derecha, a fin de determinar si la ausencia de esta disposición supone una disminución de los conflictos graves presentados en esta intersección.

Al realizar la simulación con la mejora se propuso un ciclo de semáforos menor al que actualmente se encontraba en la intersección, y cuyos resultados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Total de conflictos y su clasificación en la mejora.

Total de Conflictos	Cruzamiento	Conflictos posteriores.	Conflicto de cambio de carril
4945	40	4580	325

De igual manera se presenta el mapa con los conflictos presentados en la Figura 8.

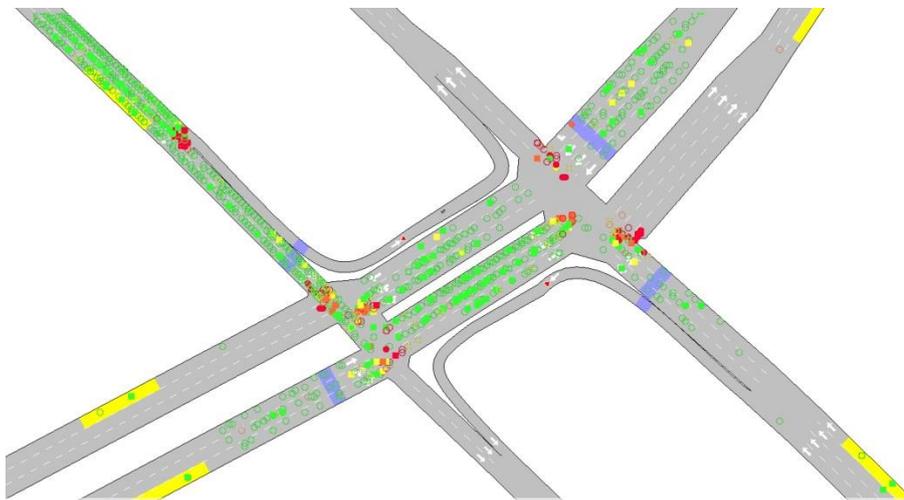


Figura 8. Mapa de los conflictos presentados.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este estudio, desafortunadamente no fue posible contar con los registros de accidentes que se presentaron en dicha intersección, pero el análisis puede servir de base para futuras referencias y trabajos para la comparativa con índices de accidentalidad.

Por otro lado, se puede apreciar que la mejora disminuyó los conflictos del tipo de cruzamiento en un 35% al eliminar la vuelta continua a la derecha, lo que favorece la seguridad de la intersección, pero los conflictos posteriores se incrementaron en un 305%, lo que supone problemas de congestión en las zonas laterales de la avenida, entendiéndose que la reducción de los conflictos resultó en una reducción del flujo y un aumento en los tiempos de viaje. Cabe señalar que la disminución de los flujos en la intersección antes mencionada con su consecuente aumento en tiempos de viaje, representa una importancia menor si con estas medidas se disminuyen los accidentes y las víctimas mortales o lesionadas que se pudieran presentar en la vía.

De igual manera se pretende realizar estudios en carreteras rurales en donde se conozcan los índices de accidentes para poder realizar una validación del método sustituto de accidentalidad y poder predecir el impacto que se tendría en la reducción de accidentes al colocar medidas que disminuyan los conflictos vehiculares, lo que ante una posterior validación del método sustituto de la accidentalidad se tendría un estimado en la reducción de los accidentes.

Se recomienda realizar los estudios con 2 diferentes paquetes computacionales de microsimulación de tránsito, para complementar los estudios y soportar de mejor manera los resultados.

RECONOCIMIENTOS

Esta investigación fue financiada con fondos de la Red Temática de Accidentes Viales (Número 253411), como parte del programa de Redes Temáticas 2015 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT).

REFERENCIAS

1. Peden, M., Scurfield, R., Sleet, D., Mohan, D., Hyder, A. A., Jarawan, E., & Mathers, C. (2004). World report on road traffic injury prevention. In World report on road traffic injury prevention. OMS.
2. Lord, D., & Mannering, F. (2010). The statistical analysis of crash-frequency data: A review and assessment of methodological alternatives. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(5), 291–305. <http://doi.org/10.1016/j.tra.2010.02.001>
3. Parker, M. R., and C.V. Zegeer. Traffic Conflict Techniques for Safety and Operations -- Observers Manual. Publication FHWA-IP-88-027. FHWA, U.S. Department of Transportation, 1989.
4. Older, S.J. and Shippey, J. (1979), Proceedings of the second international traffic conflict technique workshop, May 1979, Transport and Road Research Laboratory, Department of the Environment Department of Transport, Berkshire (TRRL Supplementary Report 557).
5. Hydén, C., & Linderholm, L. (1984). The Swedish Traffic-Conflicts Technique. International Calibration Study of Traffic Conflict Techniques. http://doi.org/10.1007/978-3-642-82109-7_12
6. Caliendo, C., & Guida, M. (2012). A Micro-Simulation Approach for Predicting Crashes at Un-Signalized Intersections Using Traffic Conflicts. *Journal of Transportation Engineering*, (December), 120822055938002. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000473](http://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000473)
7. Paddock, R. (1974). The traffic conflict technique: An accident prediction method, Dept. of Transportation, Division of Highway Bureau of Traffic Control, Ohio.
8. Gettman, D., & Head, L. (2003). Surrogate Safety Measures From Traffic Simulation Models - Final Report. Fhwa-Rd-03-050, 126. Retrieved from <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/03050/index.cfm>
9. AIMSUN [Computer software]. (2010). Version 6.1.2. TSS-Transport Simulation System, Barcelona.

MOTOCICLISTAS: USUARIOS DESPROTEGIDOS EN MÉXICO

N. GÓMEZ, A. MENDOZA & M. SAUCEDO

Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte, Instituto Mexicano del Transporte
ngomez@imt.mx & mendoza@imt.mx

RESUMEN

En la última década se presentó un incremento acelerado del parque vehicular de motocicletas en México, pasando de ser menos de 300 mil en 2000 a ser más de 1.8 millones en 2013. Este incremento, aunado a otros factores relacionados con la falta de infraestructura especializada para este tipo de usuarios, la falta de normatividad que considere a este tipo de usuarios vulnerables y la falta de programas de educación vial dirigidos al respeto de estos usuarios, han traído como consecuencia un aumento de la participación de motocicletas en la accidentalidad, incrementándose por consiguiente la cantidad de víctimas, situación que se ha agravado hasta convertirse en un gran problema de salud al reportarse más de mil usuarios de motocicleta muertos a nivel nacional (zonas urbanas y suburbanas y Carreteras Federales) para el año 2013.

Este artículo muestra la situación actual del transporte por motocicleta en el país y busca crear conciencia sobre la importancia de desarrollar infraestructura adecuada para brindar mayor seguridad a este tipo de usuarios logrando de esta forma reducir la cantidad de motociclistas muertos y lesionados en accidentes de tránsito.

1. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS MOTOCICLISTAS EN MÉXICO

En la última década se ha reportado un incremento acelerado del parque vehicular de motocicletas en México, pasando de ser menos de 300 mil a ser más de 1.8 millones en 2013. Este incremento, aunado a la falta de infraestructura adecuada y a la falta de educación sobre los riesgos, han traído como consecuencia un aumento en la cantidad de accidentes de tránsito en los que se ven involucrados motociclistas y por consiguiente la cantidad de víctimas resultante de los mismos se ha incrementado, pasando a ser un gran problema de salud al reportarse más de mil muertos a nivel nacional en 2013.

1.1. Evolución del parque vehicular de motocicletas en México

De acuerdo a los registros del INEGI [1], desde principios de los años 80's y hasta el año 2002, la cantidad de motocicletas registradas en circulación en el país no excedía el 2% de la flota vehicular total mexicana, siendo a partir de 2003 cuando se registró un crecimiento acelerado hasta representar las motocicletas más del 5% del total de la flota registrada en circulación para el año 2013 (véase Figura 1).

Como se observa en la Figura 1, el crecimiento de la flota vehicular de motocicletas en circulación se ha acelerado en la última década, presentando una tasa de crecimiento promedio anual mayor que el resto de vehículos, siendo del 15.6% para el periodo de 2003-2013; mientras que para los automóviles, en el mismo periodo de tiempo, representa el 6.9%, para los autobuses el 1.15% y para los camiones de carga el 4.4%. Dicho crecimiento se observa mejor en la Figura 2, misma que muestra la cantidad de motocicletas registradas en circulación para el periodo 2000–2013.

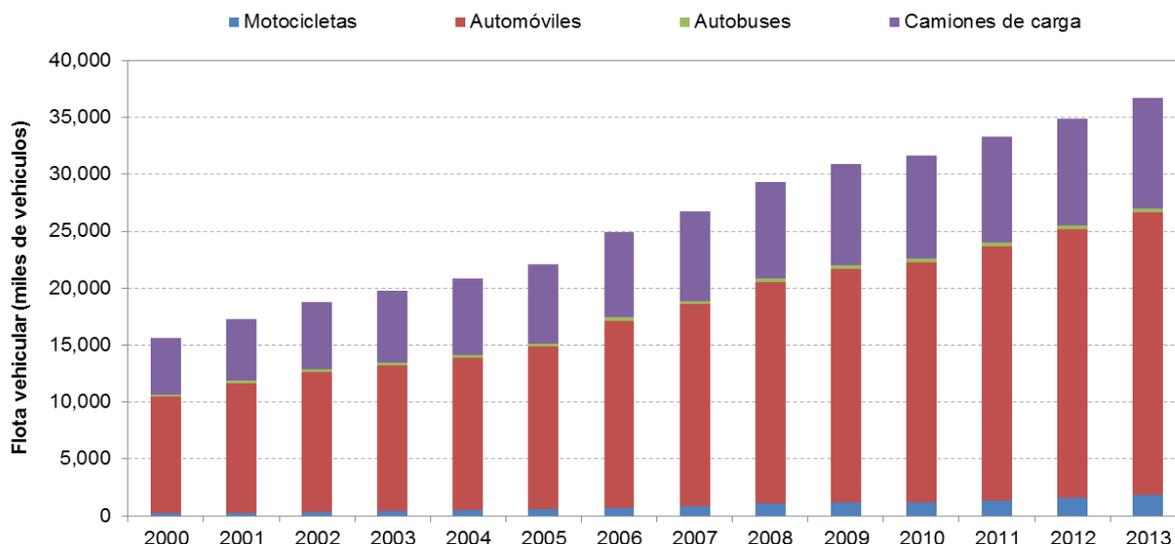


Figura 1 – Evolución de la flota vehicular en México, 2000-2013

En la Figura 2 se hace evidente el crecimiento acelerado, al pasar de un parque vehicular de alrededor de 300 mil motocicletas en el año 2000, hasta prácticamente quintuplicarse en el año 2013, cuando se registraron más de 1.8 millones de motocicletas.

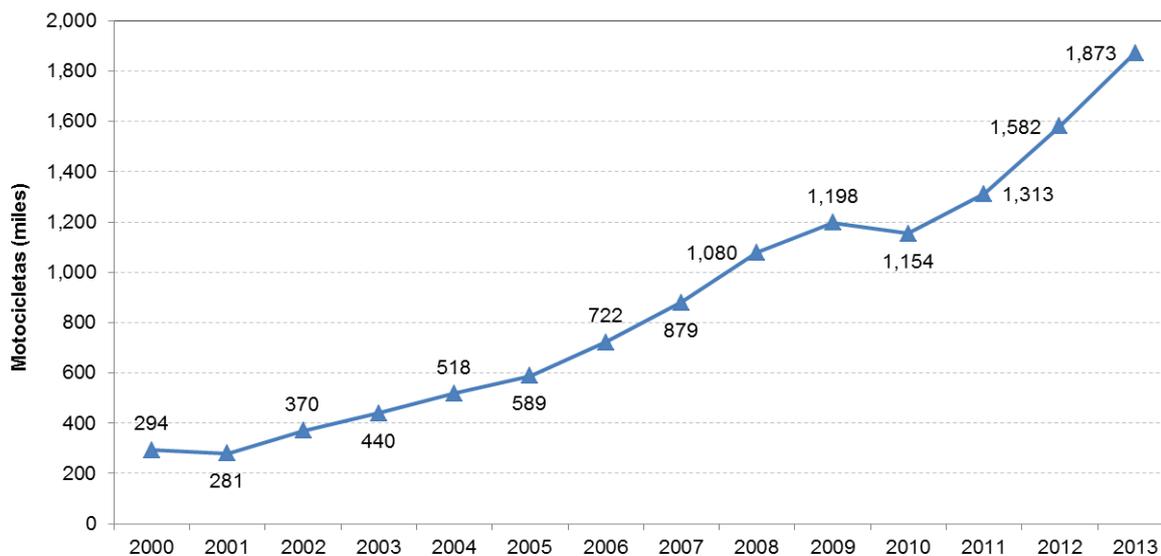


Figura 2 – Motocicletas en circulación en México, 2000-2013

1.2. Evolución de la participación de las motocicletas en la accidentalidad y sus saldos en México

El crecimiento acelerado del parque vehicular de motocicletas ha traído consigo graves consecuencias al incrementarse la cantidad de motocicletas involucradas en accidentes de tránsito, mismos que a su vez han dejado como secuela una cada vez mayor cantidad de víctimas.

En la Tabla 1 y en la Figura 3 se presenta la evolución de la participación de este tipo de vehículos en la accidentalidad. En la columna 2 se presenta la cantidad de motocicletas involucradas en Accidentes de Tránsito en Zonas Urbanas y Suburbanas (ATUS) [2],

mientras que en la columna 3 se presentan las cifras para las motocicletas involucradas en accidentes de tránsito en la Red Carretera Federal (RCF) [3].

Tabla 1 – Motocicletas involucradas en accidentes de tránsito, 2000-2013

Año	Motocicletas involucradas en accidentes de tránsito		
	ATUS	RCF	Total
2000	12,901	ND	12,901
2001	14,192	ND	14,192
2002	16,336	ND	16,336
2003	18,912	418	19,330
2004	21,398	462	21,860
2005	24,665	626	25,291
2006	28,813	768	29,581
2007	33,421	845	34,266
2008	34,854	1,036	35,890
2009	36,245	1,005	37,250
2010	35,089	1,061	36,150
2011	35,497	649 ^a	36,146
2012	40,684	734 ^a	41,418
2013	41,798	1,343	43,141

^a Para los años 2011 y 2012 los Anuarios Estadísticos [3] reportan únicamente aquellas motocicletas que participaron como responsables en los accidentes de tránsito, por lo que la cifra no contabiliza a todas aquellas motocicletas que se vieron involucradas pero no fueron responsables del percance.

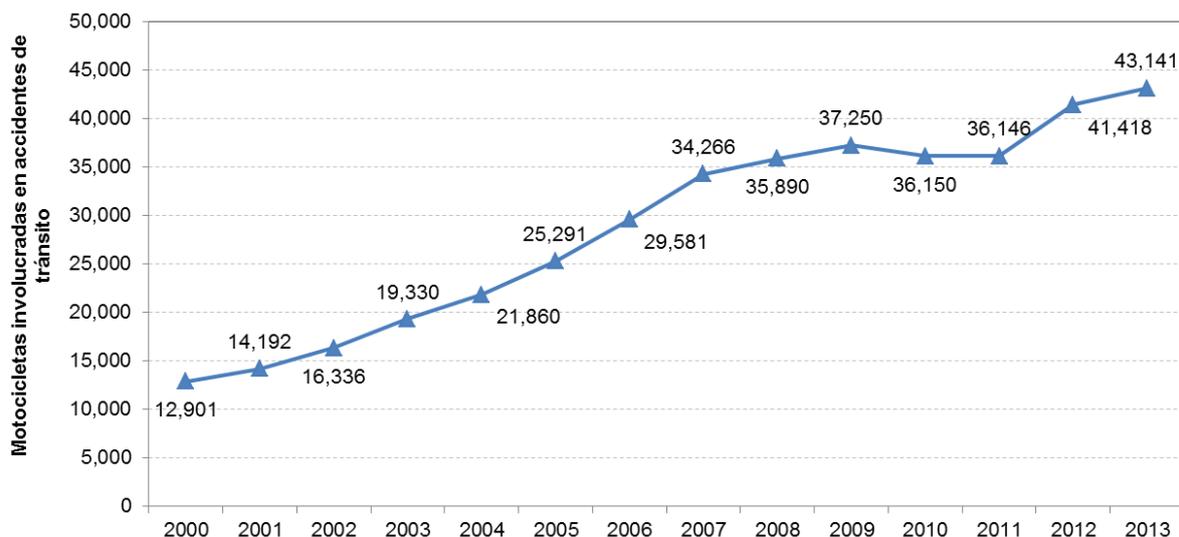


Figura 3 – Evolución de la cantidad de motocicletas involucradas en accidentes de tránsito en México, 2000-2013

En la Tabla 1 y en la Figura 3 se hace evidente el incremento de la participación de las motocicletas en la accidentalidad vial, reportándose una tasa de crecimiento promedio anual del 8.36% para el periodo 2003-2013. Al comparar las Figuras 2 y 3, se observa que

hay una relación proporcional entre el aumento del parque vehicular de motocicletas y el aumento de la participación de este tipo de vehículos en la accidentalidad nacional.

A partir de la información que se presenta en las bases de datos del INEGI y del IMT [2 y 3], no es posible conocer la cantidad exacta de usuarios de motocicleta que resultaron muertos y lesionados en accidentes de tránsito a nivel nacional; aunado a esto, cabe aclarar que los reportes de accidentes generados por la policía, ya sea municipal, estatal o federal, únicamente reportan la cantidad de personas que fallecieron en el lugar del percance y consideran como lesionados a todas aquellas personas que fueron retiradas del sitio aún con vida, sin importar si fallecieron en el trayecto a la unidad hospitalaria; debido a esto, no se puede conocer exactamente la cantidad de usuarios de motocicleta que resultaron lesionados pero no muertos a nivel nacional; por su parte, para la cantidad de usuarios de motocicleta fallecidos debido a un accidente de tránsito, se puede consultar la base de datos de mortalidad general publicada por el INEGI [4], misma que contiene información adicional al desglosar la cantidad de muertos nacionales de acuerdo a la Clasificación Internacional de Enfermedades en su 10ª revisión (CIE-10).

De acuerdo a la base de datos de mortalidad publicada por el INEGI [4] se observa que la cantidad de usuarios de motocicleta fallecidos en un accidente de tránsito pasa de representar el 1.52% del total de muertos ocasionados por accidentes de tránsito en el año 2000 a ser poco más del 7.1% para el año 2013 (véase sección sombreada en Tabla 2). En la Tabla 2 se muestran los muertos ocasionados por accidentes de tránsito para el periodo 2000-2013, clasificados de acuerdo al tipo de vehículo en que se transportaban. Para el caso de “Otros”, es importante señalar que en este rubro se incluyen los pocos fallecidos que viajaban en vehículos de tres ruedas y en camionetas o furgonetas (4%) y el resto corresponde a aquellos fallecidos para los que no se tiene información del vehículo o las condiciones del accidente (96%); por su parte el rubro de “Secuelas de accidente de vehículo de motor” se refiere a aquellos casos en los que el lesionado murió después de un tiempo no especificado y sí se logró identificar que procedía de un accidente de tránsito. En México se tiene un sub-registro en la cantidad de muertos ocasionados por los accidentes de tránsito, hecho que se debe principalmente a problemas detectados por el desconocimiento de las recomendaciones para la certificación de las causas de muerte publicadas en la CIE-10 al momento de hacer el llenado de los certificados de defunción, siendo registrado el padecimiento y no que la causa sea un accidente de tránsito [5]; y a la falta de seguimiento a las víctimas de accidentes de tránsito.

Como es evidente en la Tabla 2, la mortalidad en los usuarios de motocicletas ha ido en aumento en la última década, pasando de 163 fallecidos en el año 2000 a registrarse más de 1,100 muertos de este tipo de usuarios para 2013. En esta tabla también se hace evidente la severidad de los accidentes que involucran usuarios vulnerables (peatones, ciclistas y motociclistas), representando éstos en promedio el 40% del total de muertes al año. Comparativamente, se registra un mayor crecimiento en los fallecimientos de usuarios de motocicleta que del resto de vehículos; esto se hace más evidente en la Figura 4 que muestra la evolución de la tasa de crecimiento anual para las muertes de usuarios de motocicletas, comparándola contra la del resto de los usuarios de la vía.

Tabla 2 – Ocupantes de vehículos fallecidos en accidentes de tránsito, 2000-2013

Año		Peatón	Ciclista	Motociclista	Ocupante de automóvil	Ocupante de autobús	Ocupante de transporte pesado	Otros	Secuelas de accidente de vehículo de motor	Total
		Muertos	5,671	222	163	2,980	77	64	5,386	1
	%	38.9%	1.5%	1.1%	20.5%	0.5%	0.4%	37.0%	0.01%	100%
2001	Muertos	5,623	205	201	2,829	88	43	5,529	4	14,522
	%	38.7%	1.4%	1.4%	19.5%	0.6%	0.3%	38.1%	0.03%	100%
2002	Muertos	5,479	245	209	3,162	143	54	5,851	1	15,144
	%	36.2%	1.6%	1.4%	20.9%	0.9%	0.4%	38.6%	0.01%	100%
2003	Muertos	5,512	231	265	3,087	69	101	6,172	7	15,444
	%	35.7%	1.5%	1.7%	20.0%	0.4%	0.7%	40.0%	0.05%	100%
2004	Muertos	5,259	341	301	2,971	97	67	6,592	1	15,629
	%	33.6%	2.2%	1.9%	19.0%	0.6%	0.4%	42.2%	0.01%	100%
2005	Muertos	5,361	321	360	3,146	86	95	7,206	4	16,579
	%	32.3%	1.9%	2.2%	19.0%	0.5%	0.6%	43.5%	0.02%	100%
2006	Muertos	5,401	283	472	3,341	198	74	7,580	2	17,351
	%	31.1%	1.6%	2.7%	19.3%	1.1%	0.4%	43.7%	0.01%	100%
2007	Muertos	4,957	234	595	3,105	95	72	6,699	5	15,762
	%	31.4%	1.5%	3.8%	19.7%	0.6%	0.5%	42.5%	0.03%	100%
2008	Muertos	5,061	256	625	3,110	108	95	8,232	4	17,491
	%	28.9%	1.5%	3.6%	17.8%	0.6%	0.5%	47.1%	0.02%	100%
2009	Muertos	5,301	306	718	3,677	95	74	8,166	4	18,341
	%	28.9%	1.7%	3.9%	20.0%	0.5%	0.4%	44.5%	0.02%	100%
2010	Muertos	4,920	261	716	3,370	85	102	7,539	7	17,000
	%	28.9%	1.5%	4.2%	19.8%	0.5%	0.6%	44.3%	0.04%	100%
2011	Muertos	5,042	251	867	3,186	68	94	7,643	3	17,154
	%	29.4%	1.5%	5.1%	18.6%	0.4%	0.5%	44.6%	0.02%	100%
2012	Muertos	5,342	272	1,046	2,857	98	108	7,926	4	17,653
	%	30.3%	1.5%	5.9%	16.2%	0.6%	0.6%	44.9%	0.02%	100%
2013	Muertos	5,002	266	1,166	2,676	80	91	7,120	6	16,407
	%	30.5%	1.6%	7.1%	16.3%	0.5%	0.6%	43.4%	0.04%	100%

La Figura 4 muestra el crecimiento que tiene la mortalidad de usuarios de motocicleta registrándose una reducción del 0.28% en el año 2010 respecto al año anterior, pero en el resto del periodo se presenta un incremento anual llegando a ser del 31.1% para 2006; mientras que la tasa de crecimiento anual de la mortandad del resto de usuarios es menor al 15% llegando a ser negativa para el 2007, 2010 y 2013 respecto a los correspondientes años previos.

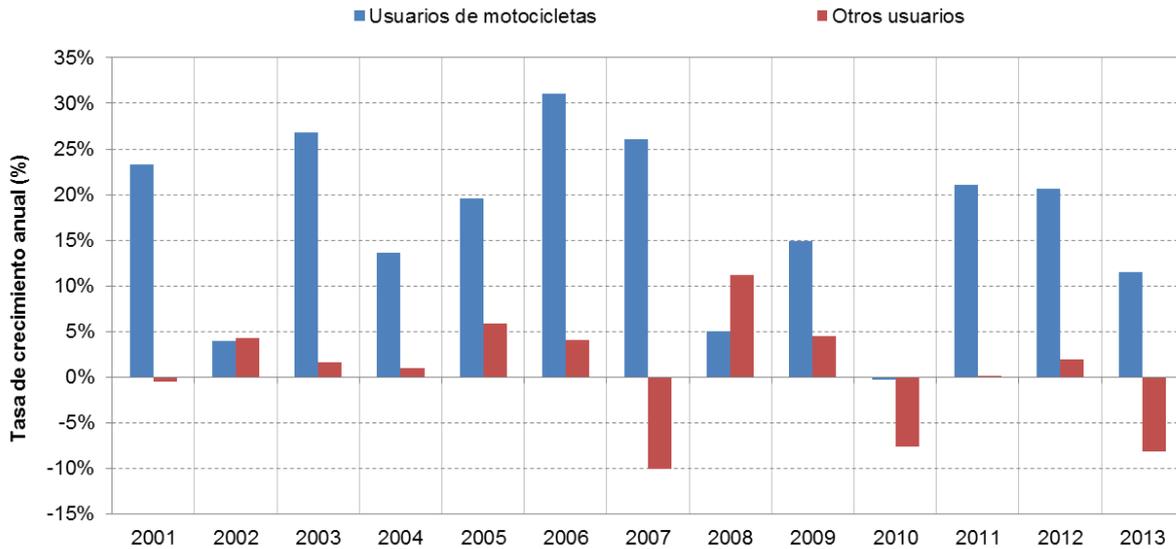


Figura 4 – Evolución de la tasa de crecimiento anual de las muertes ocasionadas por accidentes de tránsito en México, 2000-2013

La Figura 4 hace evidente la severidad de los accidentes de tránsito en los que una motocicleta está involucrada, registrándose un crecimiento en la mortalidad del orden de 16.3% en promedio anualmente para el periodo 2000-2013, mientras que la mortalidad del resto de usuarios de las vías únicamente creció en promedio un 0.4% y la mortalidad total debida a accidentes de tránsito reporta una tasa de crecimiento promedio anual del 0.9%.

1.3. Infraestructura para motociclistas en México

Históricamente en México no se ha impulsado el uso de vehículos alternativos al automóvil y, como consecuencia, no se tienen programas de concientización para el respeto a los usuarios vulnerables; no es sino hasta hace algunos años que se tienen iniciativas de transporte alternativo y que se ha venido desarrollado infraestructura especial para este tipo de usuarios (ciclistas en su mayoría) y es únicamente en algunas ciudades del país como Guadalajara, Jalisco, Ciudad de México, Querétaro y Corregidora, Qro., por mencionar algunas.

En cuanto a infraestructura para motociclistas, en México destacan los programas en zonas urbanas llevados a cabo en San Miguel de Allende, Estado de Guanajuato, y en la Ciudad de México [6]. En el caso de San Miguel de Allende, se han implementado zonas de estacionamiento exclusivas para motocicletas (véanse Figuras 5 y 6) mientras que en la Ciudad de México se han implementado carriles exclusivos para este tipo de usuarios (Figura 7) y la Secretaría de Transportes y Vialidad del Distrito Federal (SETRAVI) [7] está llevando a cabo el programa “Caja Bici-Moto”, el cual consiste en colocar marcas en el pavimento para indicar las zonas con prioridad para el ciclista y un área de espera para bicicletas y motocicletas, buscando mejorar la visibilidad y así garantizar la circulación segura de todos los usuarios de la vía (véase Figura 8).



Figura 5 – Señalización de estacionamiento para motocicletas en San Miguel de Allende, Guanajuato [6]



Figura 6 – Detalle de señalamiento de estacionamiento para motocicletas en San Miguel de Allende, Guanajuato [6]



Figura 7 – Señalización específica para motocicletas y bicicletas en la Colonia Condesa, Ciudad de México [6]



Figura 8 – “Caja Bici-Moto”, programa impulsado por la SETRAVI [7]

En lo referente a la presencia de motociclistas y demás usuarios vulnerables en la Red Carretera, en los últimos años se han llevado a cabo auditorías de seguridad vial en las que se observa la alta presencia de este tipo de usuarios en toda la red de caminos; una de estas auditorías fue la realizada durante los años 2011-2014 con la metodología “iRAP”, misma que califica la infraestructura por estrellas, otorgándole una estrella a la infraestructura más deficiente y cinco estrellas a la infraestructura que ofrece mejores condiciones de seguridad vial a los usuarios; dicha calificación se realiza por tipo de usuario de la vía (ocupantes de vehículos, motocicletas, bicicletas y peatones). Los resultados generales de dicho análisis los presenta Mendoza et al. [8], siendo los más relevantes para la presente investigación el que en general la infraestructura para motociclistas obtuvo una clasificación de tres estrellas o menos en toda la red carretera (principal y secundaria) haciendo evidentes las deficiencias que se tienen en el país en materia de protección vial para motociclistas.

2. LEGISLACIÓN VIGENTE REFERENTE A LOS MOTOCICLISTAS

De igual forma que la falta de programas efectivos de concientización sobre los motociclistas como usuarios de la vía, en el país no se cuenta con la legislación necesaria que considere los derechos y obligaciones de todos los usuarios de la vía, siendo esto más crítico para los usuarios vulnerables (peatones, ciclistas y motociclistas).

2.1. Reglamentos de Tránsito

México está compuesto de 32 Entidades Federativas y cada una de ellas tiene su propia legislación en materia de tránsito y transporte; dichas entidades federativas a su vez se subdividen en Municipios o Delegaciones y, en algunos casos, también éstos emiten su propio Reglamento de Tránsito. Esta situación incrementa la dificultad que se tiene para implementar medidas en materia legislativa para considerar a todos los usuarios de la vía.

Adicionalmente se cuenta a nivel país con un Reglamento de Tránsito para Carreteras y Puentes de Jurisdicción Federal.

2.1.1 *Licencias de conducir para motociclistas*

En todos los Estados de la República Mexicana se requiere contar con una licencia de conducir para poder circular en una motocicleta. En el 90% de las Entidades Federativas se otorgan licencias para conducir exclusivamente motocicletas, mientras que en otras entidades la licencia expedida también permite la conducción de automóviles. Respecto al límite de edad para otorgar una licencia, todos los Estados expiden licencias definitivas a personas mayores de 18 años y permisos provisionales a mayores de 16 años (15 años en el Distrito Federal y Tlaxcala y 14 en Durango) [9].

Respecto a los requisitos para obtener una licencia para conducir motocicletas, en el 65.6% de las Entidades Federativas es necesario presentar un examen médico, que incluye entre otras cosas una evaluación de agudeza visual y una evaluación de condición física, en el 87.5% de los Estados es obligatorio aprobar un examen práctico de conducción y en el 84.4% es necesario también aprobar un examen sobre conocimiento del reglamento de tránsito y algunas cuestiones teóricas sobre la conducción de vehículos. Es importante mencionar el caso del Estado de Tabasco en el que se especifica el tipo de examen práctico que deben realizar los aspirantes a obtener una licencia, y se requiere además una evaluación psicológica; mientras que el Distrito Federal no tiene ningún requisito de aprobación de exámenes, ni médico, ni teórico-práctico, es decir, la obtención de la licencia es un trámite administrativo recaudatorio [9].

Respecto a los menores de edad, es importante mencionar que en 25 de las 32 Entidades Federativas (78.1%) para otorgar una licencia a un menor de 18 años es necesario que la solicitud se acompañe con una carta responsiva por parte de los padres o tutores del menor; de igual forma en cinco Entidades es necesario contar con un seguro de daños a terceros y en seis de las Entidades se restringe la circulación de menores de edad a horas diurnas. Un dato alarmante es que en México no se hace distinción del tipo y tamaño de las motocicletas registradas en circulación, hecho que tampoco se refleja en los reglamentos de tránsito, no teniéndose en cuenta la cilindrada o el tamaño de las motocicletas al momento de otorgar las licencias de conducir; es únicamente en los Estados de Chiapas, Durango y Jalisco en los que se restringe el tamaño de la motocicletas que los menores de 18 años pueden conducir; esto da paso a que jóvenes inexpertos, que probablemente adolecen de la madurez física y mental necesarias para maniobrar una motocicleta de gran peso que logra alcanzar altas velocidades, circulen en la red nacional. Durango es la única Entidad Federativa que solicita todos los requisitos mencionados para expedir una licencia de conducir para motociclistas menores de edad (responsiva de los padres, circular a un horario establecido, contar con seguro de daños a terceros y limitar el tamaño de la motocicleta) [9].

Adicional a los reglamentos de tránsito estatales, México cuenta con un Reglamento de Tránsito en Carreteras y Puentes de Jurisdicción Federal [10], en el que se estipula que está prohibido que un menor de edad sea el conductor de una motocicleta en la Red Carretera Federal (RCF).

2.1.2 *Dispositivos de seguridad*

Respecto a los dispositivos de seguridad con que debe contar este tipo de usuarios, se pueden dividir en dos grupos: los concernientes a las características de la motocicleta,

entre las que destaca el que cuente con un faro delantero que tenga cambio de luces, y que cuente con un faro rojo trasero, además en algunos reglamentos [9] se estipula que debe contar con luces intermitentes y un sistema de frenado independiente para cada llanta; el segundo rubro se refiere a la seguridad del usuario, siendo obligatorio el casco de seguridad en el 78.1% de las Entidades tanto para el conductor como para el acompañante, mientras que el uso de anteojos es obligatorio únicamente en el 34% de las Entidades. Por su parte, el Reglamento de Tránsito para la RCF hace obligatorio el uso de casco y anteojos para todos los ocupantes [10].

2.1.3 *Condiciones de circulación de las motocicletas en la Red Nacional de Caminos*

Respecto a las condiciones de circulación, en la mayoría de los Reglamentos de Tránsito (25, incluido el Reglamento de la RCF) se estipula que los conductores de otros tipos de vehículos deben respetar a los motociclistas y darles el espacio suficiente como si se tratara de un automóvil; además se establece que no pueden viajar en una motocicleta más personas que las que estipula la tarjeta de circulación, que está prohibido circular en las zonas peatonales y que las motocicletas de pequeñas dimensiones no pueden circular por los carriles de alta velocidad; éstas son algunas de las condiciones que establecen los Reglamentos Mexicanos, mismos que básicamente estipulan que las motocicletas tienen los mismos derechos y obligaciones que los automóviles cuando se trata de circular por las vías nacionales [9 y 10].

2.2. Legislación vigente en materia de infraestructura para motociclistas

Como ya se mencionó anteriormente, México no tiene una cultura de protección y respeto a los usuarios vulnerables, reflejándose esto en la normatividad vigente que en muchas ocasiones es tan antigua que no incluye a estos tipos de usuarios.

Un ejemplo de lo anterior es el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras elaborado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), cuya última edición de 1991 no contempla el diseño de infraestructura para mejorar la seguridad de los usuarios de motocicleta [11].

Por otra parte, la NOM-037-SCT2-2012 referente a las barreras de protección en carreteras y vialidades urbanas, no considera a los motociclistas; en la Tabla 2 de dicha Norma únicamente se especifican los tipos de barrera para contener automóviles, camionetas, camiones unitarios y tractocamiones articulados, dejando fuera de la misma a todo tipo de motocicletas. En la actualidad se han desarrollado barreras para protección de motociclistas, que adicionan una cresta en la parte inferior de las barreras convencionales, con el fin de que contengan con seguridad al usuario vulnerable. Lamentablemente el costo de las barreras para motociclistas es mayor que el de las barreras convencionales (esto debido al costo del material de la cresta extra), hecho que aunado a la falta de obligatoriedad, generan que no se cuente con un sistema de retención para motociclistas en toda la red vial nacional [12].

3. CONCLUSIONES

En el desarrollo del presente artículo se observa la grave situación del transporte por motocicleta en México, y se hace evidente el acelerado crecimiento que tiene año con año la utilización de este tipo de vehículo en el transporte tanto urbano como interurbano.

Como se mostró al inicio del estudio, el parque vehicular de motocicletas en circulación en México se incrementó 4.25 veces en la última década, situación que se comporta de manera proporcional con la participación de este tipo de usuarios en la accidentalidad nacional, siendo 2.23 veces mayor la participación de las motocicletas en la accidentalidad para el mismo periodo.

La gravedad de la situación se confirma al analizar la cantidad de motociclistas fallecidos a causa de accidentes de tránsito. En la última década se reportaron 7,131 usuarios de motocicleta muertos a causa de accidente de tránsito y se reporta una tasa de crecimiento anual de la mortalidad de los mismos de 8.4% para la última década analizada.

La gravedad del incremento de la flota de motocicletas, su consiguiente participación en la accidentalidad mexicana, la falta de homogeneidad en los Reglamentos de Tránsito y la facilidad de acceso a este tipo de vehículos traen como resultado un incremento en la mortalidad de este tipo de usuarios haciendo evidente la urgencia del desarrollo de un programa de seguridad vial para motociclistas, que promueva la creación de espacios dedicados exclusivamente a este tipo de usuarios, creando campañas de concientización para todos los usuarios de la vía así como normas dirigidas a la protección y respeto del derecho de circulación de todos.

Respecto a la infraestructura, es evidente que en México no se cuenta con espacios dedicados a la circulación en motocicleta y por desgracia no se considera a este tipo de usuarios en el diseño y mejoramiento de los dispositivos de seguridad en la red vial, haciendo evidente que los usuarios vulnerables no son considerados al momento de planear, diseñar y construir la infraestructura vial del país.

Con este artículo se ilustra la situación de este tipo de usuarios vulnerables que hasta el momento sólo son considerados en algunas ciudades, aunque el uso de este tipo de transporte se ha incrementado en todo el país. Es importante que los esfuerzos se hagan en todas direcciones, siendo imprescindible poner en marcha programas de concientización y educación vial, complementándolos con la elaboración de normativa que contemple a todos los tipos de usuarios y que además se diseñe y construya infraestructura planeada para proporcionar seguridad a todos los usuarios de la vía, haciendo hincapié en la protección a los usuarios vulnerables, evitando así que la tasa de mortalidad de los motociclistas siga creciendo exponencialmente como lo hace hasta ahora, contribuyendo de esta forma a las metas del Decenio de Acción por la Seguridad Vial 2011-2020 al reducir la cantidad de usuarios de motocicletas fallecidos por accidentes de tránsito.

RECONOCIMIENTOS

Esta investigación fue financiada con fondos de la Red Temática de Accidentes Viales (Número 253411), como parte del programa de Redes Temáticas 2015 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT).

El presente artículo fue aceptado para su presentación en la sesión de poster dentro del Tema 14: “Motociclistas en áreas urbanas” durante el XXV Congreso Mundial de la Carretera a celebrarse del 2 al 6 de noviembre del 2015 en la Ciudad de Seúl, Corea.

REFERENCIAS

1. INEGI (2015). Estadísticas de vehículos de motor registrados en circulación. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Consulta interactiva de datos de la página http://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/Proyectos/bd/continuas/transporte/vehiculos.asp?s=est&c=13158&proy=vmrc_vehiculos, consultada el 12 de enero de 2015.
2. ATUS (2015). Accidentes de Tránsito terrestre en zonas Urbanas y Suburbanas, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Consulta interactiva de datos de la página http://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/Proyectos/bd/continuas/transporte/accidentes.asp?s=est&c=13159&proy=atus_accidentes, consultada el 12 de enero de 2015.
3. Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales (2002-2012). Instituto Mexicano del Transporte. Documentos técnicos No. 32, 34, 36, 38, 41, 43, 46, 51, 56 y 57. México 2004 - 2014. Consultados en la página oficial del IMT, en la sección de Publicaciones: <http://www.imt.mx/SitioIMT/Publicaciones/publicaciones.aspx?LsPagina=785,774,751,708,695,684,637,667,622,593&LiPagina=10&LsPalabra=&LbPalabra=0&LiAutor=157&LiCategoria=0&LiTipoPublicacion=0&LsRango=0&LdAnio=0&LiSecuencia=57>. Consultada en enero de 2015.
4. INEGI (2015). Estadísticas de mortalidad. Defunciones generales por causas detalladas CIE. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Consulta interactiva de datos de la página http://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/Proyectos/bd/continuas/mortalidad/MortalidadGeneral.asp?s=est&c=11144&proy=mortgral_mg, consultada el 09 de enero de 2015.
5. CONAPRA (2012). Segundo informe sobre la situación de la seguridad vial, Secretariado Técnico del Consejo Nacional para la Prevención de Accidentes (STCONAPRA), Secretaría de Salud, Primera edición, México, 2012.
6. Latapí A. M. A. (2014). Diagnóstico de la infraestructura vial para motocicletas y propuesta de reglamento para el Distrito Federal. Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Consulta en línea: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3726/DIAGN%C3%93STICO%20DE%20LA%20INFRAESTRUCTURA%20VIAL%20PARA%20MOTOCICLETAS%20Y%20PROPUESTA%20DE%20REGLAMENTO%20PARA%20EL%20DISTRITO%20FEDERAL.pdf?sequence=1>, consultada el 11 de febrero de 2015.
7. SETRAVI (2015). Programa Caja Bici-Moto. Secretaría de Transportes y Vialidad de la Ciudad de México. Consulta en la página oficial de la SETRAVI: http://www7.df.gob.mx/wb/stv/caja_bicimoto, consultada el 11 de febrero de 2015.
8. A. Mendoza, G. Saucedo & E. Abarca (2015). "The use of the iRAP-Mexico Project data for generating safe road design recommendations". XXVth World Road Congress, World Road Association, paper 0234.
9. Reglamentos de tránsito de cada Estado (2015). Consulta interactiva por Entidad Federativa de la página <http://www.imt.mx/micrositios/seguridad-y-operacion-del-transporte/reglamentos/reglamentos-de-transito.html>, consultada el 19 de febrero de 2015.
10. Reglamento de Tránsito en Carreteras y Puentes de Jurisdicción Federal (2012). Secretaría de Seguridad Pública, Diario Oficial de la Federación, segunda sección, 22 de noviembre de 2012.
11. Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras Federales (1991). Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Cuarta Reimpresión, México, 1991.
12. NOM-037-SCT2-2012 (2012) Norma Oficial Mexicana, Barreras de protección en carreteras y vialidades urbanas. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Diario Oficial de la Federación, segunda sección, 14 de septiembre de 2012.

PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA INTERSECCIÓN PIE DE LA CUESTA - TLÁLOC Y MOCTEZUMA PARA MINIMIZAR LA ACCIDENTALIDAD DE LA ZONA

G. HERNÁNDEZ
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
al105240@alumnos.uacj.mx

E. ABARCA & J. CHAVARRÍA
Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte, Instituto Mexicano del Transporte
eabarca@imt.mx, jchavarria@imt.mx

RESUMEN

En los últimos años el aumento de accidentes de viales en la Ciudad de Querétaro se ha convertido en una prioridad para las autoridades debido a los altos índices de daños ocasionados. Por tal razón ha surgido el interés por disminuir la accidentalidad dentro de la zona urbana. La identificación y caracterización de sitios conflictivos en zonas urbanas permiten efectuar acciones que ayuden a mejorar la seguridad vial donde más se necesita. El resultado del tratamiento de estos sitios ayudará a suministrar información útil para los estudios preliminares de seguridad vial en el diseño, construcción y mantenimiento de las vías en zonas urbanas con el fin de eliminar este tipo de siniestros. Entre los puntos analizados con mayor índice de accidentes en la zona urbana de la Ciudad de Querétaro se encuentra la intersección a nivel entre las calles Pie de la Cuesta- Tláloc y Moctezuma, la cual fue elegida para realizar el estudio.

1. INTRODUCCIÓN

El aumento de accidentes de viales en zonas urbanas se ha convertido en prioridad para las autoridades en los últimos años debido a los altos índices de daños ocasionados a raíz de estos problemas. Es por ello que ha surgido el interés por disminuir la accidentalidad dentro de la zona urbana de la Ciudad de Querétaro con la ayuda de nuevas metodologías que ayuden a la identificación de intersecciones urbanas con gran número de incidentes.

Estos sitios de alta incidencia de accidentes son aquellos tramos de vía donde se ha presentado un número significativo de sucesos con cierta frecuencia o periodicidad en un tiempo determinado. Su identificación y caracterización permiten efectuar acciones que ayudan a mejorar la seguridad vial concisamente en aquellos sitios críticos donde más se necesita y por otro lado el resultado del tratamiento de los sitios de alta accidentalidad nos suministre información útil para los estudios preliminares de seguridad en el diseño, construcción y mantenimiento de las vías con el fin de eliminar este tipo de siniestros.

Basado en la información existente de estudios previos llevados a cabo en el Instituto Mexicano del Transporte, se realizara un análisis estadístico de los registros de accidentes, características físicas y operativas de dichos sitios, con el fin de generar un diagnóstico para proponer una serie de alternativas de mejoramiento y bajar los índices de accidentalidad en estos puntos.

2. ANTECEDENTES

Tomando en cuenta estudios previos de puntos negros y auditorías viales llevadas a cabo dentro de la Ciudad de Querétaro, en este trabajo se explican los pasos dados para

identificar los puntos de alta concentración de accidentes, con vistas a analizar la seguridad de intersecciones viales urbanas. Asimismo, se exponen brevemente los aspectos vinculados con el procedimiento tradicional, lo que permitirá una mayor comprensión del procedimiento propuesto.

Con ayuda del Lic. Ricardo Ortega Pacheco (Delegado Municipal de Querétaro), se pudo tener acceso a la información de puntos conflictivos en la zona urbana de la Ciudad lo cual facilitó la identificación de puntos negros, de los cuales se seleccionaron 5, esto por el alto número de accidentes y la frecuencia con la que estos se presentan. Estos 5 lugares fueron evaluados con el fin de seleccionar aquel que mostrara un mayor peligro tanto para los conductores como para los peatones que circular por dicho lugar. Dentro del análisis previo se pudo observar lo siguiente:

1. Tlacote y 5 de Febrero

- Barreras de contención en malas condiciones.
- No se respetan los señalamientos, principalmente el de “Ceda el paso” creando congestionamientos vehiculares.
- Faltan semáforos vehiculares y peatonales.
- Conflictos vehiculares entre la Carretera a Tlacote y Las Torres.

2. Universidad y 5 de Febrero

- Largas filas para cruzar de un punto a otro.
- Faltan semáforos peatonales.
- Conflictos entre peatones y automovilistas.
- Se dan vueltas en “U” sobre la Calle Universidad aun cuando están prohibidas.
- Los cruceros peatonales son poco visibles por el deterioro de la pintura.
- Mala colocación de la parada de autobuses ya que genera giros imprudentes de los autobuses para atravesar todos los carriles al dar vuelta izquierda.
- Faltan señalizaciones.

3. Pie de la Cuesta - Tláloc y Moctezuma

- No hay señalamientos en ninguno de los cruces.
- Falta un semáforo para la calle Moctezuma lo cual genera que los vehículos que transitan sobre esa calle crucen hacia otra vialidad sin respetar los tiempos de semaforización de estas.
- No hay cruces ni semáforos peatonales.
- Problemas en el diseño geométrico de la intersección.
- La población infantil es muy alta debido al número de escuelas de la zona poniendo la intersección como punto prioritario.
- La carpeta asfáltica se encuentra en muy malas condiciones.
- Los accesos para discapacitados están mal diseñados.

4. Constituyentes y Tecnológico

- No hay vueltas a izquierda por la Calle Constituyentes de Oeste a Este.
- No se respeta el paso peatonal.
- Aun con luz verde el flujo vehicular está detenido.
- No se respeta el semáforo y los vehículos pasan estando la luz roja.
- Los automóviles se detienen sobre el paso peatonal.
- Faltan semáforos peatonales.

5. *Epigmenio González y Prolongación Tecnológico*

- Faltan señalamientos, los existentes están mal colocados.
- Muy poco espacio para los carriles que giran alrededor de la glorieta.
- Los cruces peatonales no son visibles.

Con la información recabada de la visita de cada uno de los puntos, se determinó que el sitio más conflictivo es el de la intersección entre Pie de la Cuesta, Tláloc y Moctezuma, ya que la cantidad de accidentes y los datos que se obtuvieron del lugar demuestran que es urgente el análisis de dicha intersección.

3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Con el fin de diagnosticar, analizar y plantear soluciones a la accidentalidad en la intersección que se seleccionó, es importante realizar un estudio metódico de todos los datos de accidentes de los últimos años que han sido reportados y para complementarlos realizar un análisis de la seguridad vial con un levantamiento de datos del lugar (aforos, velocidades, diseño geométrico, tiempos de cruce, entre otros).

3.1 Hawkeye

Para poder obtener toda esta información se utilizó un equipo de recolección y análisis de datos especializado llamado “Hawkeye”. Las características de este equipo permiten a quien lo utilice tomar medidas satelitales, imágenes de alta resolución tomadas de 4 puntos diferentes del vehículo, así como elevaciones, condiciones del pavimento, entre otras cosas.



Figura 1 – Equipo de análisis carretero “Hawkeye”

3.2 Video

Una de las ventajas de utilizar este equipo es que permite tomar una serie de fotografías en ángulos diferentes del vehículo para poder analizarlas después y con ello determinar las condiciones en las que se encuentra el sitio de estudio.

Gracias al software avanzado con el que cuenta este equipo se pueden obtener diferentes tipos de datos del tramo de estudio, ayudando a determinar las características actuales y poder utilizar datos precisos en el Análisis de Seguridad Vial (ASV).



Figura 2 – Chequeo de datos durante el levantamiento

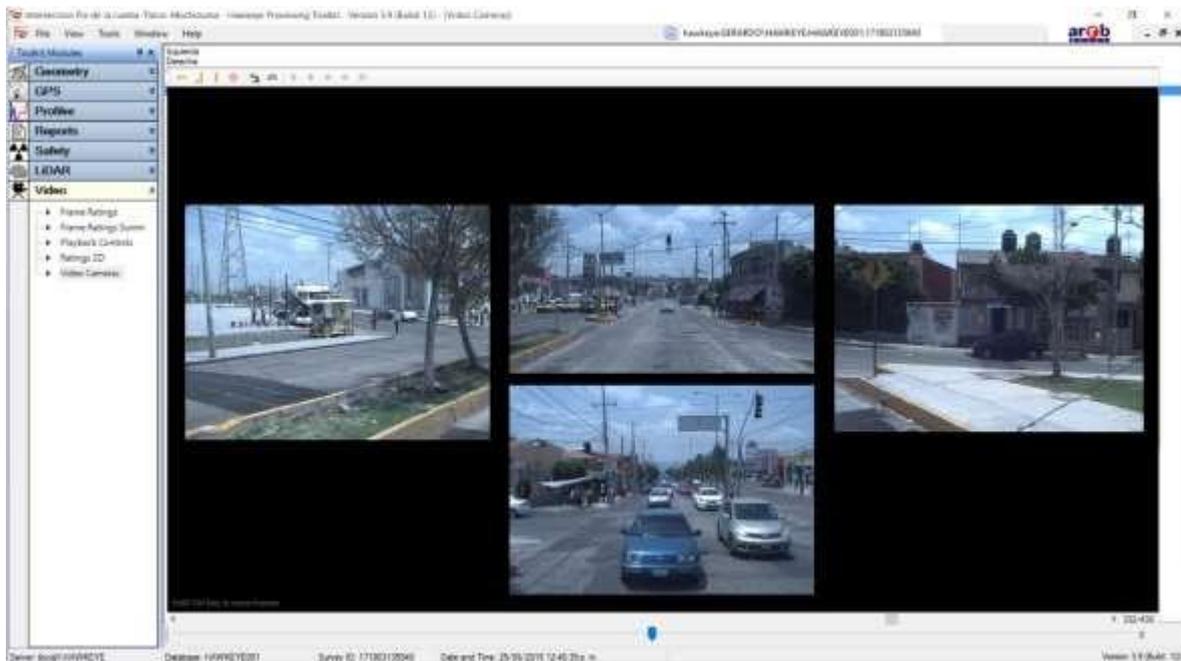


Figura 3 – Análisis de los videos obtenidos con las cámaras del Hawkeye

3.3 Velocidades

La importancia de la velocidad, como elemento básico para el proyecto de un sistema vial, queda demostrada por ser el parámetro de cálculo de la mayoría de los demás elementos del proyecto. Un factor que hace a la velocidad muy importante en el tránsito es que la velocidad de los vehículos de hoy día ha sobrepasado los límites para los que fueron diseñadas las carreteras y calles actuales, por lo que la mayor parte de los reglamentos resultan obsoletos.

Es por ello que se realizó un levantamiento de velocidades en campo, las cuales permitirían determinar la velocidad de sitio y de tal forma realizar una comparativa entre la velocidad de diseño y la real, esto para determinar los efectos que tiene el aumento de flujo vehicular y ver si de alguna forma las condiciones de la infraestructura ayudan o perjudican a que la velocidad de los vehículos sea lo más segura posible.

3.4 Accidentes

Para poder conocer la ubicación de los puntos negros de la Ciudad de Querétaro fue necesario conocer el nivel de siniestralidad que presentan cada uno de ellos. Este tipo de información es fundamental para proponer soluciones de mejora relacionadas a

cuestiones de ingeniería de seguridad vial, por lo tanto es necesario establecer los parámetros que permitan realizar mediciones de accidentes del tramo de estudio.

Con la ayuda del Municipio fue posible obtener la cantidad de accidentes ocurridos dentro del tramo de estudio, así como el tipo de accidente, sus causas, el número de personas involucradas y la temporalidad de los mismos.



Figura 4 – Estudio de velocidades de punto del sitio

3.5 Aforos

La metodología para la determinación de los volúmenes de tráfico se basa fundamentalmente en la realización de aforos de tránsito en la intersección en estudio, para estos aforos se buscaron lugares estratégicos para poder visualizar de mejor manera a los vehículos y poder ver los movimientos que se realizan.

- a) El aforo de tráfico, se llevara a cabo en 2 partes. La primera con el uso de las cámaras del Hawkeye que permitan gravar la Hora Pico del tránsito vehicular esto por tener giros indirectos en uno de los tramos y la segunda parte se hará mediante el conteo manual de los vehículos que regularmente transitan por la vía ya que de esta forma resulta más fácil y práctico. Para poder realizar este paso es necesario realizar una visita previa al lugar para determinar las horas de mayor tránsito vehicular. Una vez determinados los horarios con mayor flujo se utilizaran para la toma de aforos.
- b) El aforo se hará registrando el tráfico por cada sentido de circulación.
- c) Se registrará además la composición del tráfico, para proporcionar información lo más apegada a la realidad.

4. DIAGNÓSTICO

Después de haber concluido la etapa de obtención de datos es importante analizar cada uno de los detalles que pudieron verse tanto en la visita de campo como en el video tomado con las cámaras del Hawkeye. Esto es fundamental para el estudio ya que de

esta manera se establecen las posibles causas por las que esta intersección presenta accidentes de manera frecuente.

El análisis de información se llevó en varias etapas para el mejor manejo y control de datos.

4.1 ASV a partir del video

La mejor forma de analizar una intersección y de ver el comportamiento entre vehículos y peatones, es mediante el uso de cámaras de video. Estas permiten jerarquizar las problemáticas que se tengan según lo que se vaya observando, sobre todo las características físicas de la intersección, los movimientos vehiculares y el comportamiento de los peatones con su entorno.

Para un completo análisis de seguridad vial (ASV) se realizaron las siguientes observaciones:

a) Velocidad

- La velocidad de proyecto circulando por la calle Tláloc es de 60 km/h de Oeste a Este, y de 40 km/h de Este a Oeste.
- Por la calle Pie de la Cuesta es de 40 km/h en ambos sentidos pero con reducciones a 20 km/h en zonas escolares.
- Por la calle Moctezuma no hay señalamiento alguno que indique la velocidad

b) Iluminación

Los postes de luz de cada una de las calles se encuentran deteriorados y son pocos los que demuestran tener daños, pero son los suficientes para iluminar bien la zona.

c) Condiciones de la carpeta asfáltica

Esta se encuentra muy deteriorada y cuenta con daños visibles como baches, desprendimiento de los agregados así como deformación por calor y frenado de los vehículos.

d) Infraestructura peatonal

Las condiciones en las que se encuentra esta intersección son malas ya que los pasos peatonales no están pintados y es difícil para los peatones poder ubicar fácilmente la zona por donde les es permitido transitar, además, no hay señalamientos que indiquen a los vehículos que tengan cuidado con los transeúntes así como falta de semáforos que permitan a las personas circular de una manera más segura y en el tiempo correcto según el ciclo del semáforo vehicular. Los accesos para discapacitados están mal diseñados y algunos de ellos son bloqueados por postes de luz.

e) Señalamientos

La mayoría de los señalamientos están muy deteriorados por el paso del tiempo, además, hacen falta varios de ellos que indiquen velocidades, zonas escolares y de vueltas prohibidas.

f) Visibilidad

La mayoría de la zona está completamente despejada y no se presentan obstáculos que interfieran con el rango de visión del conductor. Para poder conocer de manera precisa será necesario realizar el cálculo de los triángulos de visibilidad

para realizar giros y ver si existe algún tipo de inconveniente con el proyecto geométrico actual.

g) Tipos de vehículos

Los vehículos que circulan por la zona son mayormente vehículos ligeros, con presencia esporádica de vehículos de transporte público y camiones de carga.

h) Infraestructura

Las condiciones en la que se encuentra la intersección son deficientes. Uno de los tramos de la Calle Moctezuma aún no se encuentra terminado además de hacer falta un semáforo para esta misma justo en la intersección con Tláloc y pie de la cuesta.

4.2 Planos

Teniendo todos los datos necesarios para realizar los cálculos el siguiente paso será la ubicación del sitio con una imagen satelital.



Figura 5 – Vista aérea de la intersección Pie de la cuesta, Tláloc y Moctezuma

Con la ayuda del programa de procesamiento de datos del Hawkeye se exportaron los puntos del GPS para poder ver la ubicación exacta así como las elevaciones que se tienen.

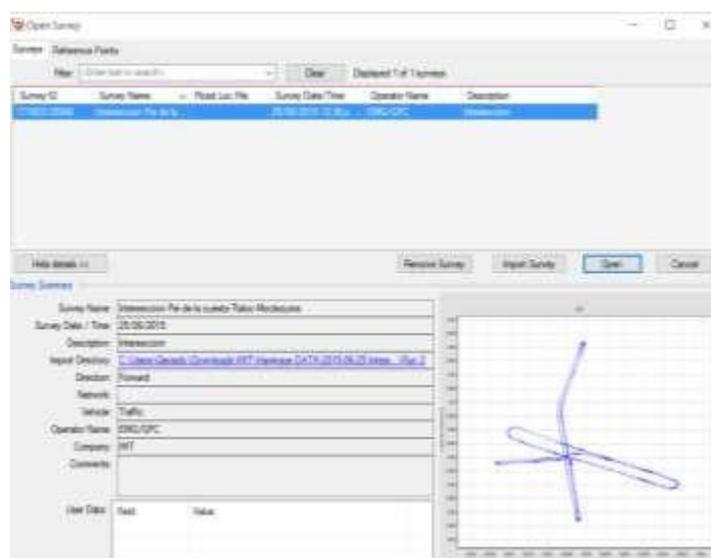


Figura 6 – Creación de un nuevo proyecto en el software de procesamiento de datos del Hawkeye

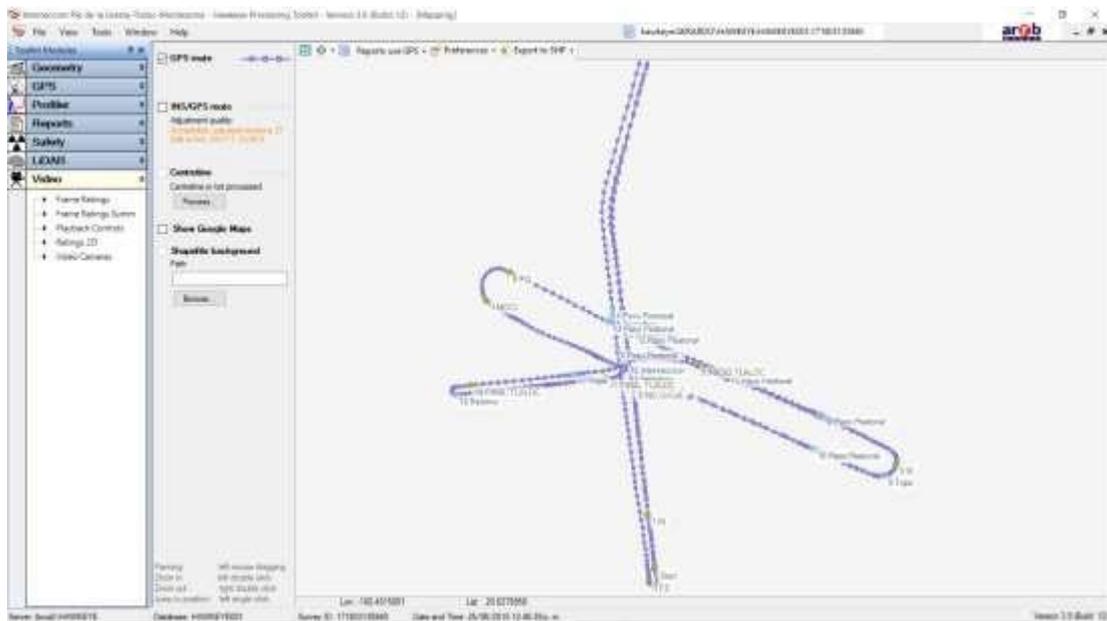


Figura 7 – Puntos obtenidos mediante GPS

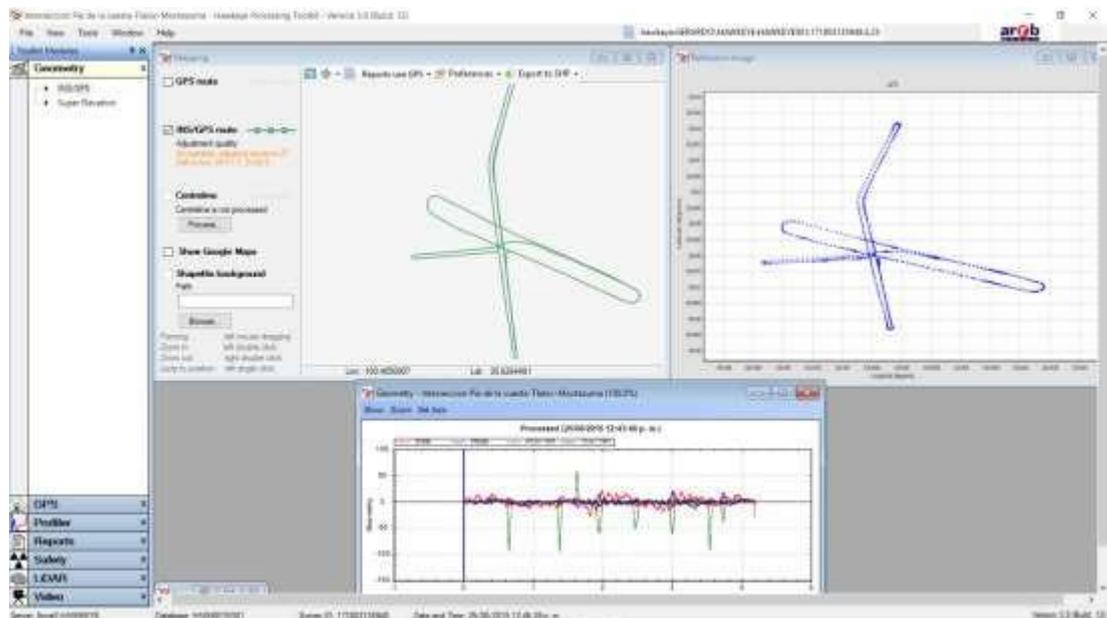


Figura 8 – Ruta levantada y elevaciones

Los datos obtenidos con este programa son de mucha ayuda ya que se evitan levantamientos topográficos con aparatos como estación total permitiendo que los tiempos sean más cortos y los costos que esto genere sean menores.

Una de las ventajas es que los datos pueden ser exportados a programas de diseño como AutoCAD con el cual puede generarse un perfil más completo del sitio de estudio además de generar los dibujos de la infraestructura correspondiente de manera más precisa.



Figura 9 – Puntos georeferenciados

4.3 Situación actual

Con la ayuda de los puntos georeferenciados por GPS se elaboró un mapa de las condiciones actuales de la intersección en donde se ven plasmadas las direcciones de cada una de las vías de acceso al punto de estudio.

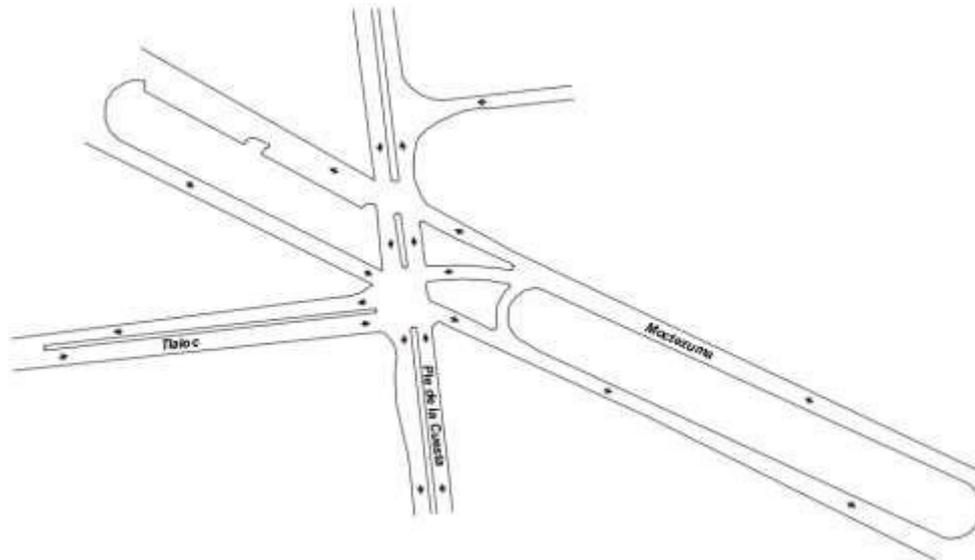


Figura 10 – Trazo preliminar de la intersección con direcciones vehiculares

A partir del diseño del primer plano se generaron los mapas de conflictos de la intersección donde se ven plasmados los lugares donde intersectan cada uno de los movimientos generados.

4.4 Análisis de la velocidad

Después de realizar mediciones de campo con la ayuda de un radar de velocidades proporcionado por el IMT, se procedió a calcular la velocidad promedio con la que circulan los vehículos según por tramo.

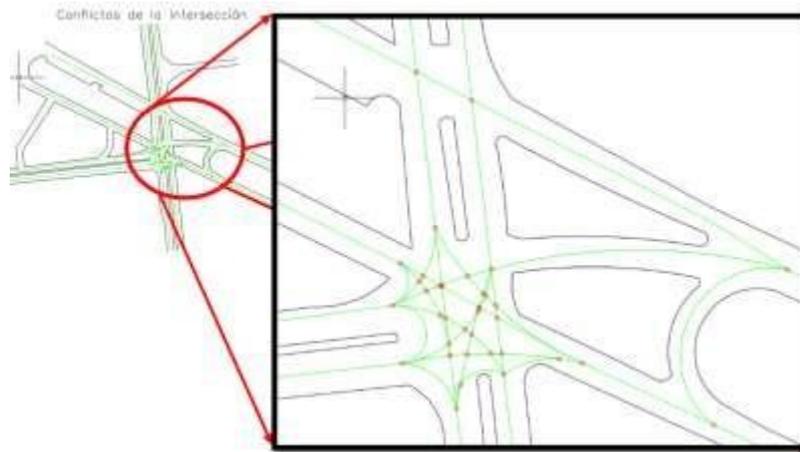


Figura 11 – Conflictos de la intersección

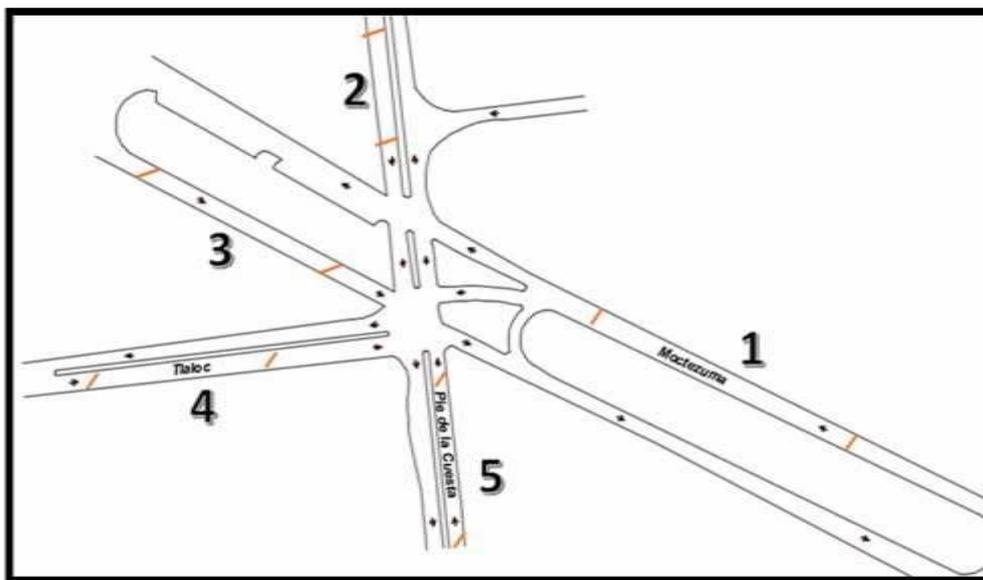
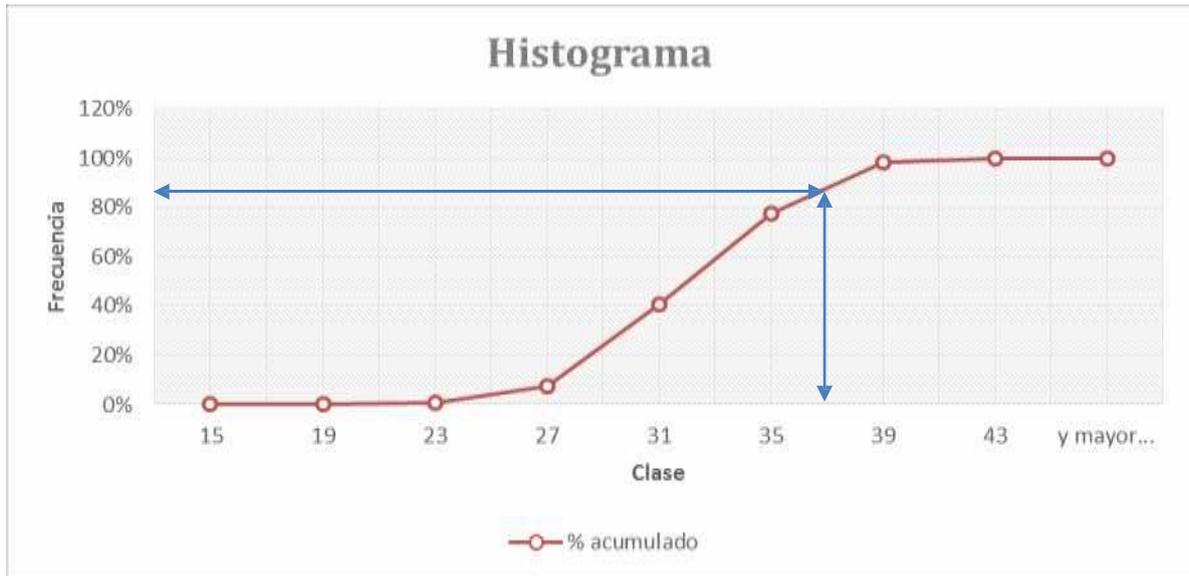


Figura 12 – Sitios seleccionados para el registro de velocidades

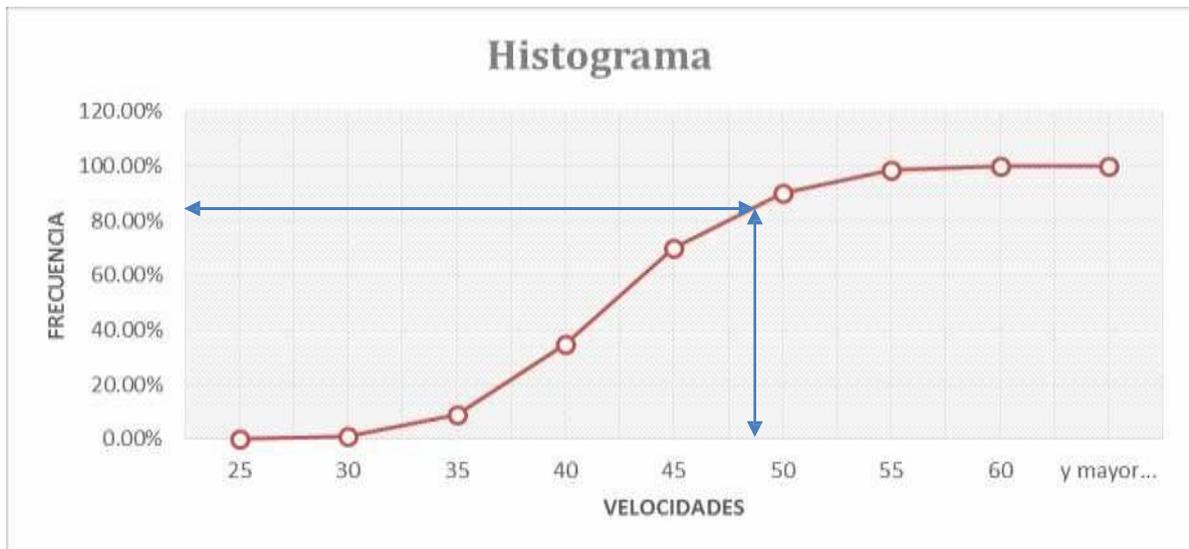
Cada uno de los sitios fue evaluado en la hora de máxima demanda según el estudio de aforos previo siendo este al medio día (12 pm). Los tramos fueron seleccionados metros antes de llegar a la intersección para conocer la velocidad de llegada al punto antes de que comenzaran a frenar. El promedio de vehículos evaluados por tramo fueron de 120. Utilizando histogramas de velocidad y mediante la utilización del 85 percentil, el cual es recomendado para establecer un promedio de velocidad según los parámetros establecidos por la Secretaria de Comunicaciones y transportes, los resultados que arrojó el estudio fueron los siguientes:

a) Sitio 1



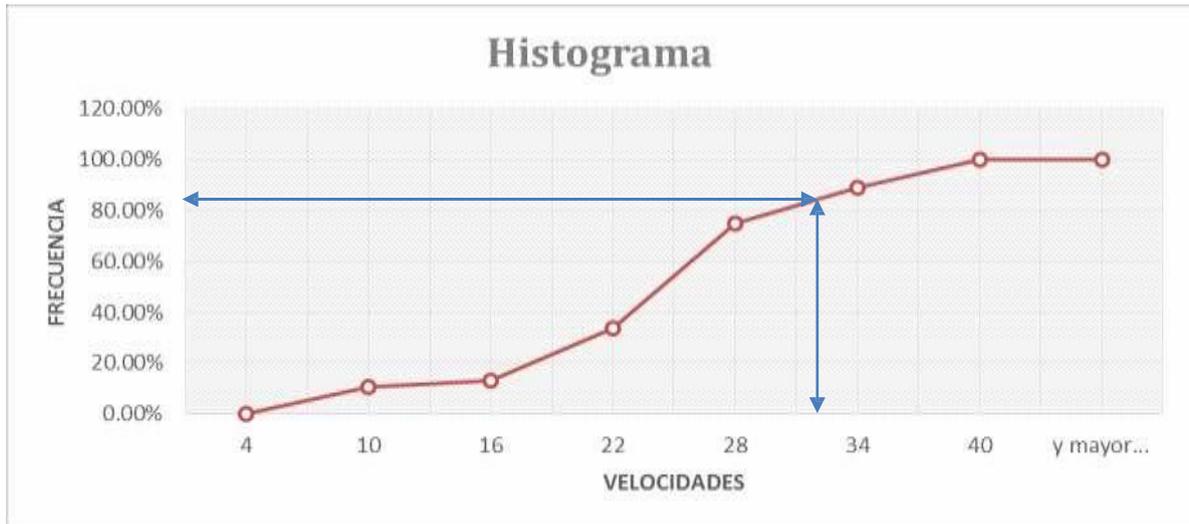
- Velocidad de operación del sitio: 37 km/h

b) Sitio 2



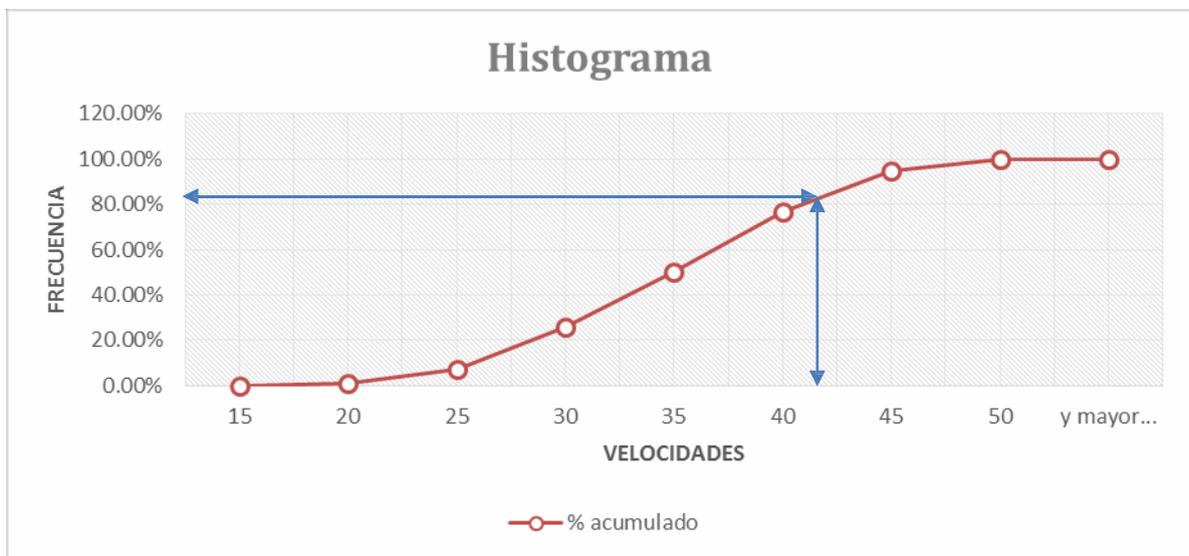
- Velocidad de operación del sitio: 49 km/h

c) Sitio 3



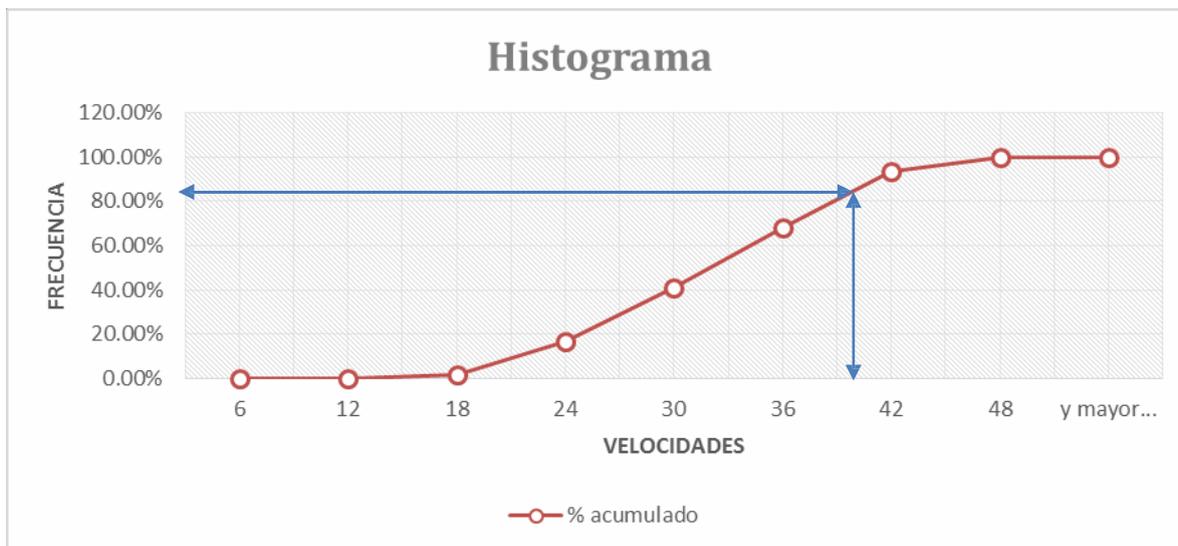
- Velocidad de operación del sitio: 30 km/h

d) Sitio 4



- Velocidad de operación del sitio: 42 km/h

e) Sitio 5



- Velocidad de operación del sitio: 39 km/h

4.5 Análisis de accidentes

Con los datos obtenidos en municipio, se realizó una base de datos en la cual se registraron los accidentes de los años 2013, 2014 y de los meses que van en curso del año 2015. Los datos obtenidos fueron los siguientes:

1. Análisis por tipo de accidente

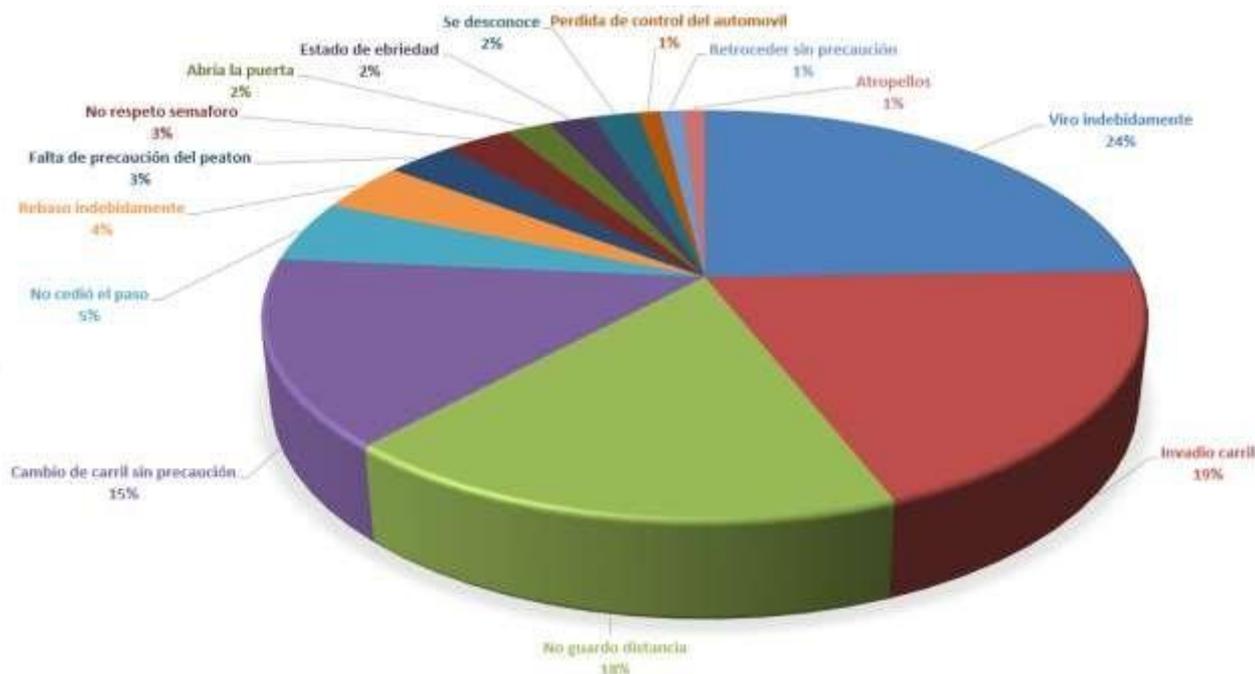


Figura 13 – Análisis de la accidentalidad por tipo

2. Análisis de la temporalidad

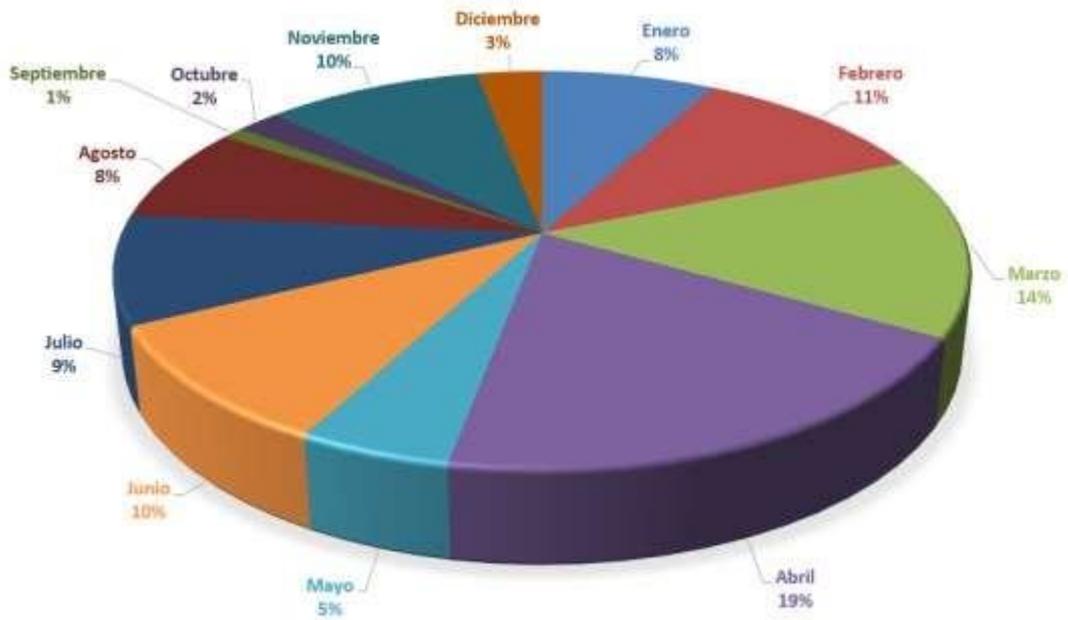


Figura 14 – Porcentaje de accidentes por mes

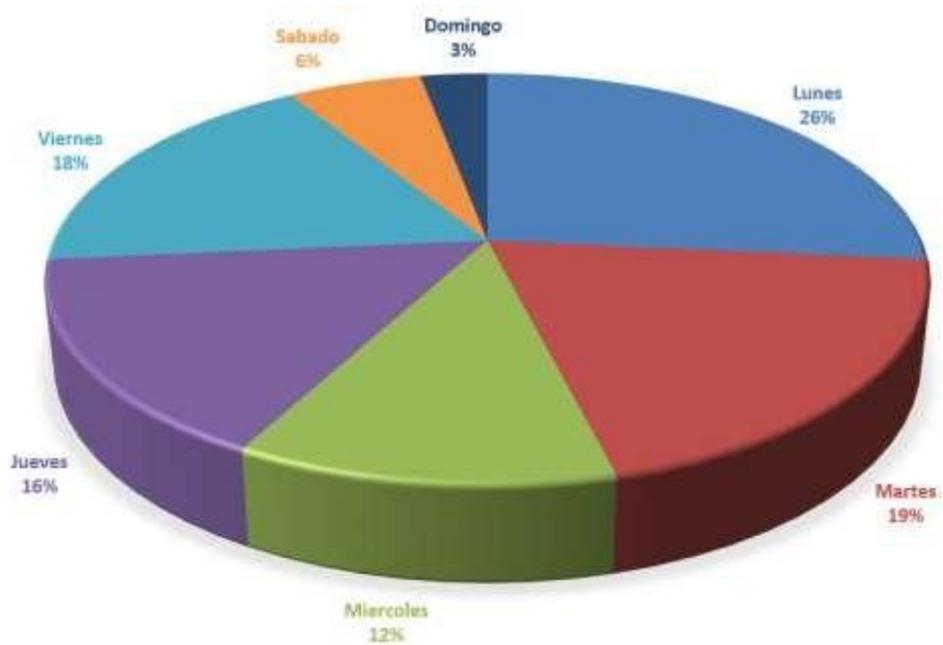


Figura 15 – Porcentaje de accidentes por día de la semana

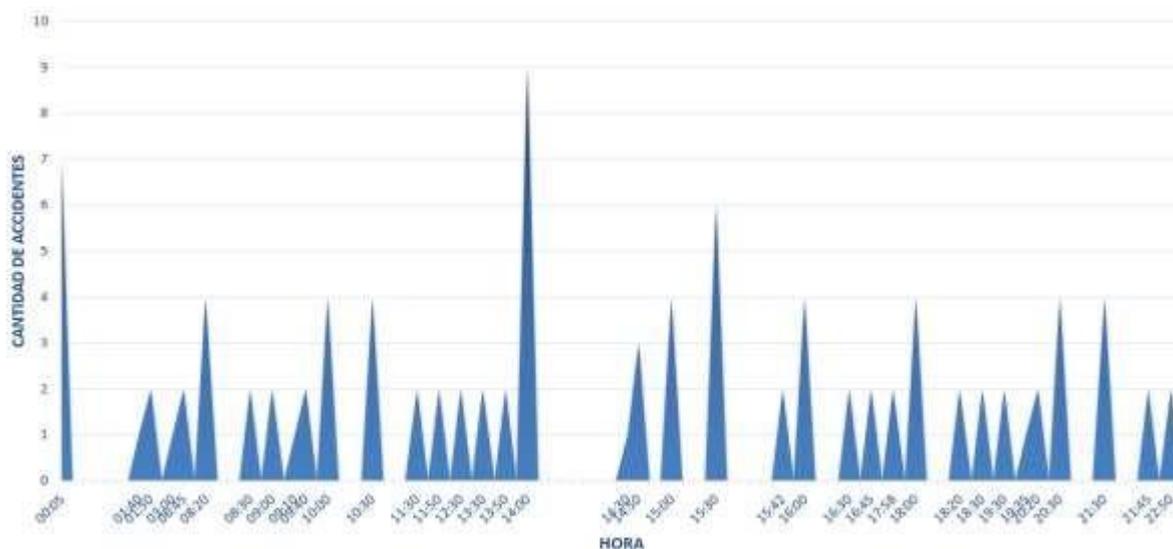


Figura 16 – Distribución horaria de los accidentes

4.6 Distancias de visibilidad

Uno de los puntos que deben de ser evaluados en el diseño de cualquier proyecto geométrico son los triángulos de visibilidad, los cuales plasman de manera gráfica los sitios que deben de estar libres de cualquier obstáculo que bloqueen la visibilidad de los giros dentro del punto de estudio.

Con la ayuda de las velocidades de proyecto se calcularon solo los triángulos con giros a la derecha, esto porque los giros a izquierda no presentaban ningún problema según las inspecciones que se realizaron en campo.

En las siguientes imágenes se muestran cada uno de los triángulos que se generaron con ayuda del programa de diseño AutoCAD. Las zonas de color verde son las que según marca la ley debe de estar libres en todo momento para evitar accidentes, las de color rojo son las que según la normativa no cumplen con esto y presentan obstáculos.

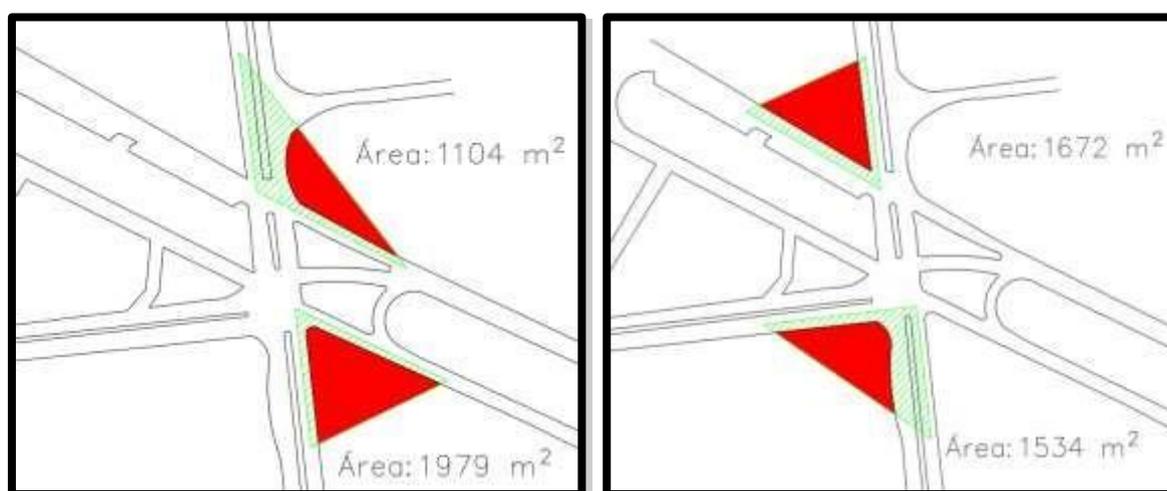


Figura 17 – Triángulos de visibilidad obtenidos mediante las velocidades promedio

5. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO

A partir de los datos obtenidos de las velocidades, distancias de visibilidad y el registro de accidentes se determinó que:

1. Rehabilitación de la intersección colocando una nueva carpeta asfáltica, señalamientos para indicar las zonas escolares y velocidades así como colocar un semáforo exclusivo para la calle Moctezuma (Noroeste-Sureste), además de pintar los cruces peatonales y delimitar los carriles.

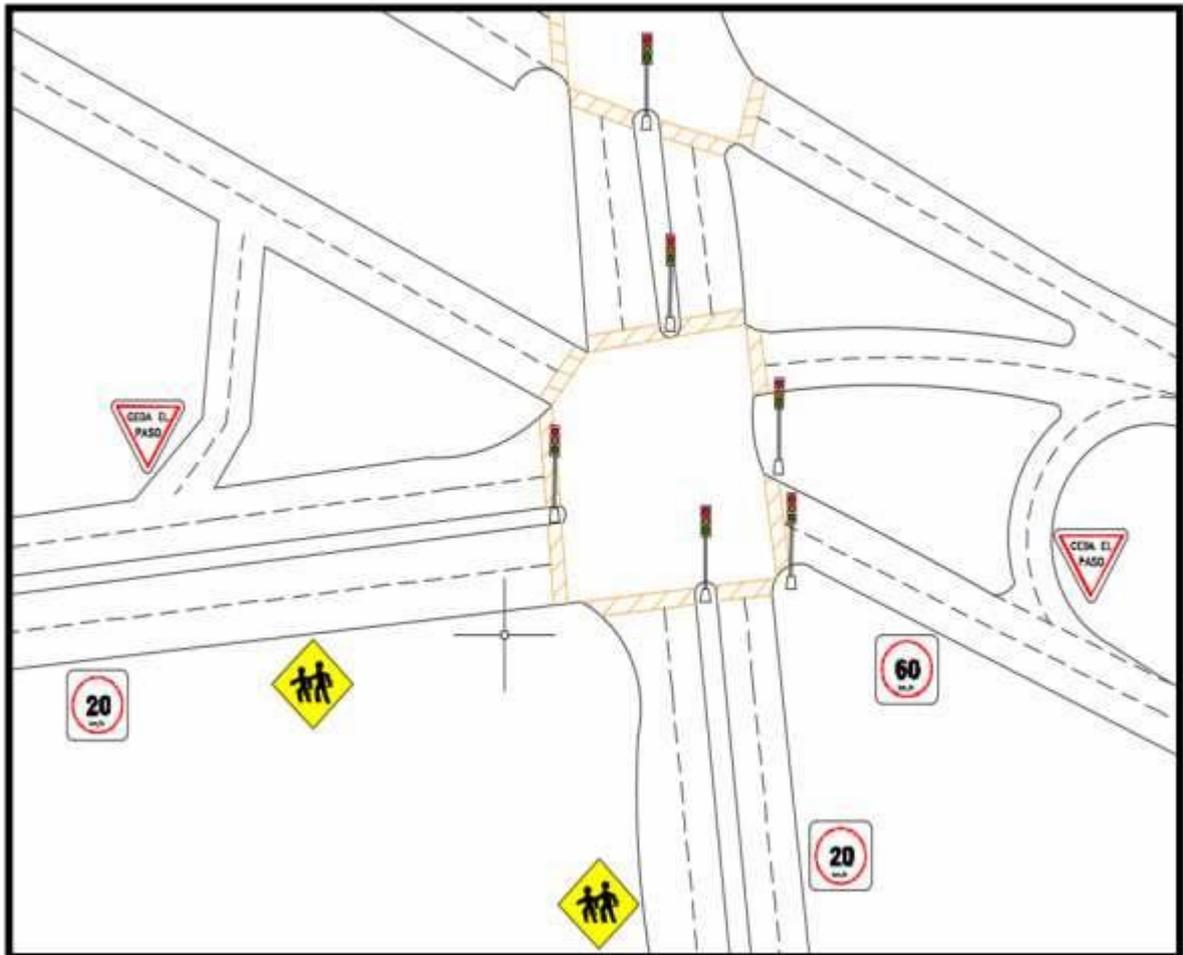


Figura 18 – Propuesta de mejoramiento 1

2. Cambio en el diseño geométrico en uno de los tramos de la Calle Moctezuma para conectarla con la Calle Tláloc.

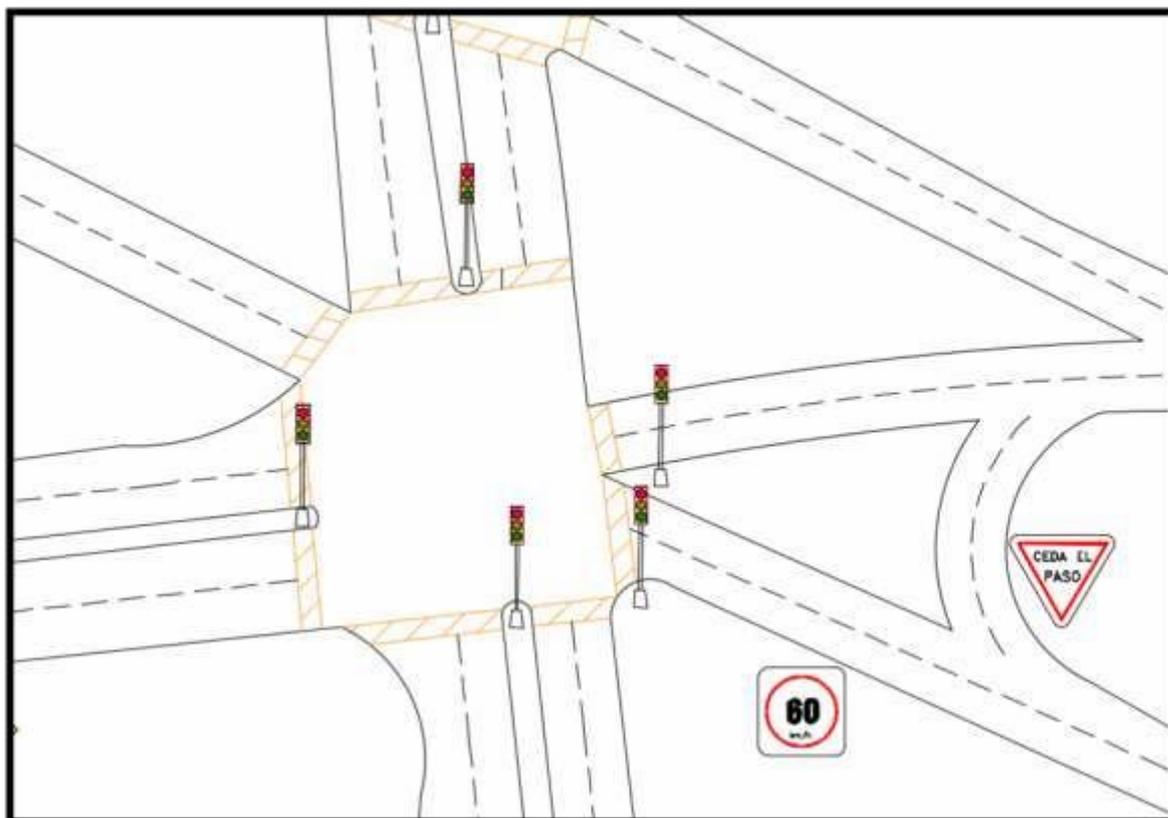


Figura 19 – Propuesta de mejoramiento 2

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Algunos de los resultados de este proyecto en curso indican que el aumento del flujo vehicular y peatonal en la zona aunado a una infraestructura vial deficiente contribuye en gran parte en el aumento de la accidentalidad del sitio.

Las deficiencias en la infraestructura provocan que la intersección vehicular sea confusa y con poca visibilidad además de que los peatones están más expuestos al tránsito.

Algunas propuestas analizadas consisten en el mejoramiento del alineamiento horizontal y la implementación de una glorieta que disminuyan el número de puntos conflictivos.

RECONOCIMIENTOS

Esta investigación fue financiada con fondos de la Red Temática de Accidentes Viales (Número 253411), como parte del programa de Redes Temáticas 2015 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT).

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen el valioso apoyo del Dr. José Osiris Vidaña Bencomo, docente del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

REFERENCIAS

1. American Association of Safety Highway and Transportation Officials. (2010). Highway Safety Manual.
2. ARRB Group. (2011). User Manual: Hawkeye Processing Toolkit and data viewer. Australia: ARRB Group Ltd.
3. ASIRT. (2015). Obtenido de Association for Safe International Road Travel: asirt.org
4. Cuevas, A. C., Pérez, J. G., Mayoral, E. F., & Mendoza, A. (2013). Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales (2013). San Fandila, Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte.
5. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2014). Manual de inventarios viales. Lima: Ministerio de transportes y comunicaciones.
6. Dourthé, A., & Salamanca, J. (2003). Guía para realizar una auditoría de seguridad vial. Santiago, Chile: CONASET.
7. Mendoza, A. D., & Mayoral, E. F. (2011). Seguridad Vial en Carreteras. México: La Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A. C.
8. OMS. (2013). Situación de la seguridad vial en el mundo. Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial, 11-36.
9. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (1984). Libro 2 Normas de Servicios Técnicos. México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
10. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (1991). Manual del proyecto geométrico de carreteras. México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
11. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2008). Proyecto de señalamiento y dispositivos de seguridad en calles y carreteras. En S. d. Transportes, Normativa para la infraestructura del transporte (págs. 26-29). México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
12. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2012). Acciones para el fortalecimiento de seguridad vial. México: SCT.
13. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2014). MANUAL DE SEÑALIZACIÓN VIAL Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD. México: Dirección General de Servicios Técnicos.
14. STCONAPRA. (2013). Tercer informe sobre la situación de la seguridad vial. México: Secretaría de salud.

RAMPAS DE FRENADO

E. MAYORAL Y C. CUEVAS

Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte, Instituto Mexicano del Transporte
emilio@imt.mx y ccuevas@imt.mx

RESUMEN

El artículo es una contribución para difundir los principales elementos que se deben considerar en el diseño de rampas de frenado, de acuerdo a la experiencia mexicana y con ello contribuir a la reducción de la severidad de los accidentes por falla en el sistema de frenos de los vehículos, principalmente los pesados. Se considera que las rampas de frenado deben formar parte del diseño integral de las carreteras, especialmente aquellas con pendientes descendentes de longitud considerable. El documento describe los principios básicos, los tipos de rampas más comunes, los procedimientos que comúnmente se utilizan, se hace una propuesta de guía para proyectar y operar las rampas, la cual incluye las acciones previas a la rampa, el acceso a la misma, así como las características fundamentales de la cama de frenado; por último se muestra un caso de éxito. Con lo anterior, se pretende demostrar que este tipo de dispositivos es una muestra más del porque las autoridades encargadas de la gestión de las vialidades deben invertir en seguridad vial con este tipo de instalaciones.

1. ANTECEDENTES

Dada la importancia que tiene el implementar acciones de mejoramiento más efectivas para incrementar los niveles de servicio, mejorar la seguridad vial reduciendo el número y la severidad de los accidentes en la red a cargo de CAPUFE, el IMT y CAPUFE convinieron en establecer un convenio de colaboración con el propósito de fortalecer y complementar a ambas instituciones mediante el apoyo mutuo de acuerdo a sus posibilidades y recursos. De acuerdo a los convenios establecidos entre ambos organismos, se determinó en esta ocasión realizar un estudio de 16 rampas de emergencia en las autopistas de la red operada por el organismo.

2. OBJETIVO

El objetivo principal fue evaluar el funcionamiento, de acuerdo a las características físicas y operativas actuales y elaborar el proyecto ejecutivo correspondiente en 16 rampas de emergencia.

Los alcances están contenidos en los siguientes puntos:

- Investigar el estado del arte sobre las rampas de emergencia en otros países.
- Obtener un análisis y diagnóstico de funcionamiento para cada una de las rampas de emergencia, definiendo su cumplimiento de acuerdo a las normas internacionales vigentes.
- Recomendar una serie de acciones de mejoramiento para que cada una de ellas cumpla con las normas seleccionadas, con el fin de mejorar las condiciones de operación.

- Realizar el proyecto ejecutivo para cada rampa que requiera algún tipo de obra y su correspondiente catálogo de conceptos y especificaciones.

3. UBICACIÓN DE RAMPAS

La Tabla 1 muestra la ubicación de las 16 rampas de emergencia que fueron evaluadas. Se observa que éstas se ubican, principalmente, en los tramos México-Puebla (cinco), Acatzingo-Cd. Mendoza (tres), Palmillas-Querétaro (dos) y Pátzcuaro-Uruapan (dos).

Tabla 1. Ubicación de las rampas de emergencia

Núm.	AUTOPISTA	UBICACIÓN (KM)
1	México - Cuernavaca	66+200 "A"
2	México - Puebla	35+500 "B"
3	México - Puebla	39+000 "B"
4	México - Puebla	46+800 "B"
5	México - Puebla	50+600 "B"
6	México - Puebla	72+300 "A"
7	Acatzingo - Cd. Mendoza	234+000 "A" IZQ.
8	Acatzingo - Cd. Mendoza	234+000 "A" DER.
9	Acatzingo - Cd. Mendoza	235+500 "A" DER.
10	Palmillas - Querétaro	157+200 "A" IZQ.
11	Palmillas - Querétaro	158+000 "A" DER.
12	Pátzcuaro - Uruapan	84+380 "A"
13	Pátzcuaro - Uruapan	86+400 "A"
14	Las Choapas - Ocozocuaula	160+000 Sentido "2"
15	Guadalajara - Tepic	69+200 "A"
16	La Carbonera - Puerto México	228+500 "A"

Fuente: *Elaboración propia, a partir de la información proporcionada por CAPUFE*

4. CONCEPTOS BÁSICOS

Las rampas tienen su origen en la observación de la reacción permanente de los conductores frente a la falla en su sistema de frenos. Obviamente, los operadores de camiones que experimentaban este problema sintieron que era preferible realizar una maniobra controlada para salirse de la autopista, a perder totalmente el control. La literatura menciona que antes de diseñarse y desarrollarse este tipo de dispositivos de seguridad, los conductores de los vehículos en descenso y fuera de control se impactaban contra montículos de arena o grava que se encontraban adyacentes a la autopista, para fines de mantenimiento de los mismos; en otros casos, se salían del camino en dirección a las lomas ascendentes o hacia caminos laterales para atenuar la velocidad del vehículo; también utilizaban el talud del corte para generar mayor fricción y disminuir la velocidad [1].

En la Figura 1 se observan las fuerzas que actúan en cada vehículo y que afectan la velocidad de éstos e incluyen al motor, frenos y la sumatoria de fuerzas que actúan directamente sobre el móvil. Las fuerzas del motor y de los frenos pueden ser ignoradas en el diseño de las rampas, puesto que éstas deberán ser diseñadas considerando el caso más desfavorable, es decir cuando los vehículos están completamente fuera de control y el sistema de frenos haya fallado por completo.

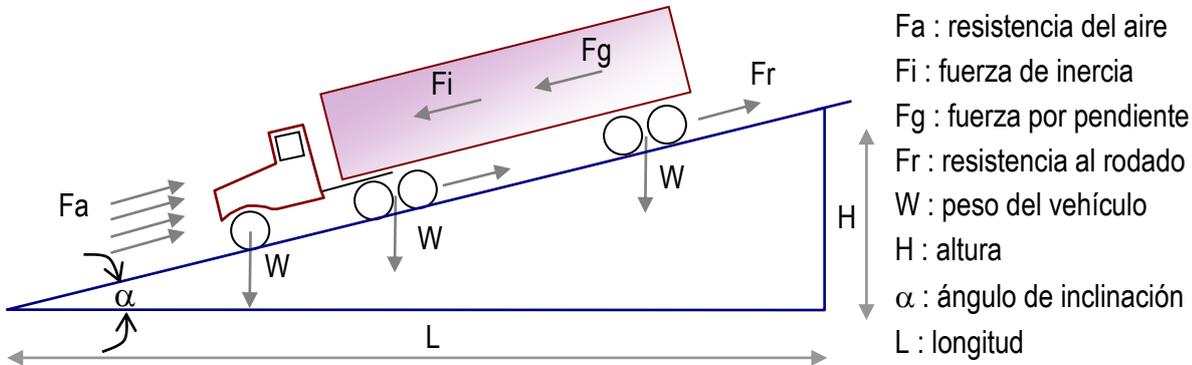


Figura 1. Fuerzas que actúan sobre un vehículo

Ahora bien, la sumatoria de fuerzas que actúa sobre el vehículo es: la inercia (F_i), el aire (F_a), la resistencia al rodado (F_r) y la pendiente (α). La F_i es una fuerza que se resiste al movimiento del vehículo a menos que sobre el vehículo actúe una fuerza externa. La F_i podría ser superada por un incremento o una disminución de la velocidad del vehículo, en donde la F_r y la pendiente pueden romper la inercia de un vehículo. La F_r es la resistencia al movimiento generado por el área de contacto entre los neumáticos y la superficie de rodamiento; la F_r es aplicable solo cuando el vehículo está en movimiento y su influencia depende del tipo de superficie. La F_a es una fuerza negativa que retarda el movimiento al estar en contacto con varias superficies del vehículo. La pendiente se debe al efecto de la gravedad, puede ser positiva (ascendente) o negativa (descendente) y se expresa como la fuerza requerida para mover un vehículo a través de una distancia vertical.

4.1. Definición y tipos de rampas

Una rampa de frenado es una franja auxiliar instalada a un lado de la carretera, con una superficie de retención para disipar la energía de los vehículos fuera de control decelerándolos de forma controlada y segura hasta su detención. En la Figura 2 se muestran las tres categorías para identificar los tipos de rampas más utilizadas, éstas son: gravitacionales, camas de frenado y montículos de arena.

Las rampas gravitacionales tienen un pavimento o material granular compactado densamente en la superficie de rodamiento, confiando principalmente en la fuerza de gravedad para disminuir y detener al vehículo. Este tipo es de gran longitud, debe tener una importante gradiente y requiere de un control topográfico continuo y estricto. Otro inconveniente es que una vez que se ha logrado la detención del vehículo, podría comenzar el descenso de éste, debido a que no cuenta con su sistema de frenos, generando una situación de riesgo para el conductor y demás vehículos que circulan por el camino, de ahí que su uso sea reducido y por lo tanto la menos recomendada.

Dentro de la categoría de camas de frenado existen tres diseños predominantes clasificados por la pendiente: es decir, pendiente ascendente, pendiente horizontal y pendiente descendente y son construidas normalmente paralelas y adyacentes al camino.

Este tipo de rampa utiliza material granular suelto, de manera tal que aumente la resistencia al rodado para la detención de los vehículos.

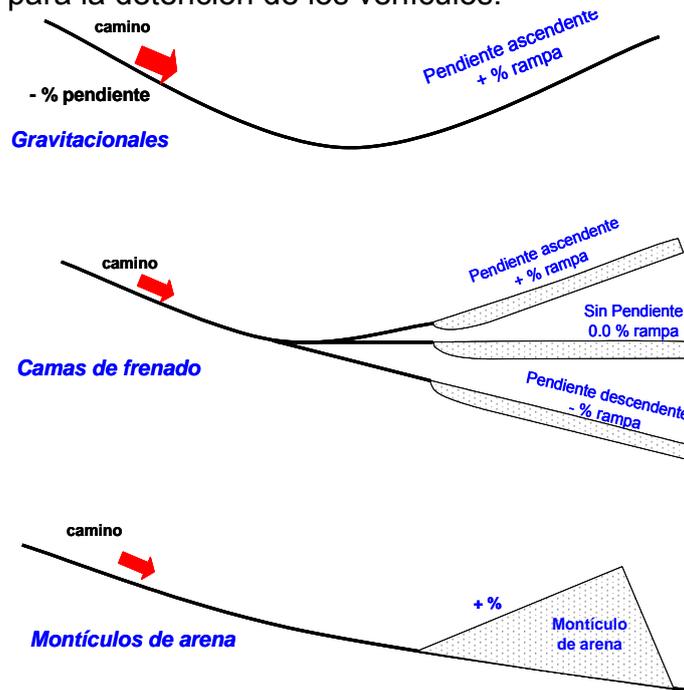


Figura 2. Tipos de rampas de emergencia más utilizadas

El más común de los lechos de frenado es el de pendiente ascendente, ya que tiene la gran ventaja de utilizar la inclinación del terreno como complemento de los materiales granulares utilizados en la construcción de él, reduciendo así su longitud. Donde la topografía es adecuada, el lecho de frenado horizontal es otra de las opciones, construido en una pendiente horizontal; este tipo de lecho de frenado incrementa la resistencia al rodado a partir del agregado suelto, teniendo como resultado la disminución y detención del vehículo. Este tipo de rampa requiere de una longitud mayor que los lechos de frenado de pendiente ascendente.

Las rampas de montículos de arena están compuestas de arena suelta y seca, y su longitud normalmente no sobrepasa los 120 m. La influencia de la gravedad depende de la pendiente de la superficie. El incremento de la resistencia al rodado es suministrado por la arena suelta. Las desaceleraciones en los montículos de arena usualmente son muy severas y la arena puede ser afectada por el clima. Por sus características deceleradoras este tipo de rampa puede no ser tan práctica como los lechos de frenado, sin embargo, para ciertos lugares, donde no exista una longitud adecuada, las rampas de montículos de arena pueden ser apropiadas.

Los tipos de rampas son aplicables para ciertas situaciones particulares, que en general se relacionan su compatibilidad con la topografía y la ubicación del lugar a instalarse. Los procedimientos usados para el análisis de las rampas son esencialmente los mismos para cada uno de los tipos identificados. La diferencia de los procedimientos es el tipo de material utilizado, ya que éste influirá directamente en el factor de la resistencia al rodado requerido para disminuir y detener en forma segura a los vehículos.

4.2. Criterios de diseño

El objetivo de una rampa es salvar vidas y es de suma importancia considerar que el conductor del vehículo fuera de control, no se encuentra en condiciones de tomar decisiones o realizar acciones complejas. Por lo anterior, el proyectista debe ofrecer las

condiciones necesarias para que el conductor entienda las maniobras que debe realizar y sienta la confianza y la seguridad de ingresar a la rampa.

Las condiciones mínimas que se deben cumplir en el diseño de una rampa son: (I) contar con un acceso amplio y una buena visibilidad de toda la rampa la mayor cantidad de tiempo posible (ya que si el conductor percibe discontinuidades, es probable que dude y su ingreso sea erróneo o no ingrese a la rampa), (II) tener una longitud suficiente, (III) colocar los materiales adecuados y contar con un carril auxiliar para remover vehículos y permitir su mantenimiento. En la literatura se menciona que otro elemento que favorece la seguridad bajo condiciones climáticas desfavorables es la iluminación nocturna. En la Figura 3 se muestra un esquema típico de una rampa de frenado en planta y perfil.

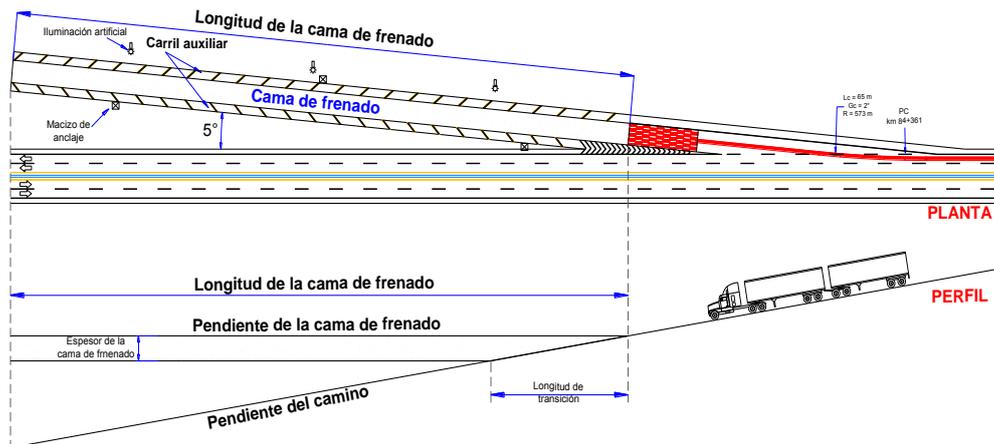


Figura 3. Esquema típico de una rampa de frenado

5. METODOLOGÍA

Claramente, ni la literatura más reciente señala un procedimiento uniforme, ampliamente aceptado, que determine cuándo es adecuado instalar una rampa de emergencia. La experiencia de los accidentes y los conocimientos de ingeniería son los enfoques mayoritariamente utilizados [2].

En lo que sí existe consenso es que los datos de accidentalidad en el proceso de diseño han resultado ser una excelente herramienta para el análisis de su ubicación, lo que debe ser acompañado con el estudio de las características topográficas del área de estudio. El análisis de una revisión de los estudios realizados en algunos estados de EE.UU., los condujo a las siguientes conclusiones, las cuales pueden servir de guía para proyectar una rampa: [3]

- La rampa debería ser ubicada en un punto de la pendiente que permita interceptar la mayor cantidad de camiones fuera de control y, por supuesto, antes del lugar donde se hayan registrado accidentes asociados.
- Los accidentes que se producen cerca de la curva vertical en cresta tienden a ser menos graves.
- Las rampas deberían ser construidas antes de las curvas horizontales que no puedan ser enfrentadas en forma segura por un vehículo fuera de control.

- La experiencia ha demostrado que una rampa ubicada entre 5 y 7 km de la curva vertical en cresta interceptará entre un 70 y un 80% de los vehículos fuera de control.
- Las rampas, por lo general, deberán estar ubicadas al costado derecho del camino y en alineación en tangente a ésta, de manera que los vehículos que ingresen lo hagan de una forma segura, ya que una vez dentro de la rampa se pierde la maniobrabilidad. Se debe tener una buena visibilidad y que el ángulo de partida debe ser menor a 5 grados.
- En el caso de caminos unidireccionales con más de un carril de circulación se podrían diseñar rampas al costado izquierdo, ubicadas en la mediana de ambos sentidos, evitando que vehículos fuera de control crucen hacia el sentido contrario.
- Las rampas deben contar con una adecuada señalización tanto previa como en la rampa. Ésta debe ser perfectamente distinguible, especialmente de noche para evitar que un conductor las pueda confundir con el camino principal. Se aconseja disponer iluminación nocturna en los casos de geometría complicada y condiciones climáticas desfavorables (p. ej. neblina).

5.1. Justificación

En términos generales, se justifica la colocación de una rampa de frenado en las siguientes situaciones:

- Sitios con estadística de accidentes causados por vehículos pesados fuera de control, debido a averías en el sistema de frenos.
- Zonas con una participación importante de vehículos pesados y con una pendiente sostenida superior a 5% y que además se cumpla la siguiente condición:

$$L \times i^2 > 60$$

Donde:

L = Longitud de la pendiente del camino (km)

i = Pendiente longitudinal del camino (%)

5.2. Longitud

Para la determinación de la longitud de una rampa de frenado requerida por un vehículo fuera de control para detener sumarcha, se puede aplicar la ecuación indicada en el documento de la AASHTO [2], donde se consideran la resistencia al rodado, la pendiente de la cama y la velocidad de ingreso de los vehículos.

$$L = \frac{V^2}{254(R \pm G)}$$

Donde:

L = Longitud de cama requerida (m)

V = Velocidad de entrada del vehículo (km/h)

G = Pendiente de la rampa, dividida por 100

R = Resistencia al rodado del material de la rampa, dividido por 1000.

Se recomienda por razones de seguridad que la longitud total LT de la cama de frenado sea un 20% adicional a la distancia de detección L, es decir:

$$LT = 1.2 L$$

La resistencia al rodado de acuerdo a los diferentes tipos de materiales, expresado como un equivalente de la pendiente, queda enunciado en la Tabla 2 [2].

Tabla 2. Valores de la resistencia al rodado para diferentes materiales

Material superficial de la rampa	Resistencia al rodado (kg/1000 kg)	Valor de resistencia al rodado en la fórmula
Concreto asfáltico	12	0.012
Grava compactada	15	0.015
Grava suelta	100	0.100
Arena	150	0.150
Gravilla de tamaño uniforme	250	0.250

Con la finalidad de conocer cómo influyen los tipos de material, se realizó un cálculo para una cama de frenado de 300 m de longitud con 0% de pendiente, utilizando tres tipos de material (grava suelta, arena y gravilla de tamaño uniforme), resultando que la cama lograría detener a un vehículo que ingresará a 87 km/h para el caso de la grava suelta, 107 km/h para las arenas y 138 km/h para grava de tamaño uniforme; se observa que la resistencia al rodado es una variable de suma importancia para un mismo diseño de cama de frenado y se vuelve aún más trascendental en camas con pendiente negativa.

También se realizó el ejercicio de conocer las longitudes requeridas para diferentes pendientes y velocidades de entrada utilizando, en todos los casos, como material gravilla de tamaño uniforme resultando que para una pendiente del -5%, se requiere una longitud de 50 m para un velocidad de entrada de 50 km/h, de 200 m para 100 km/h y 380 m para velocidades de 140 km/h; y para el caso de una pendiente positiva del 5%, se necesita una cama con una longitud de 30, 130 y 260 m respectivamente.

5.3. Accesos y ancho

El acceso a las rampas debe ser perfectamente distinguible y despejado. Se recomienda demarcar el área del acotamiento y vía de acceso previo a la rampa con una cuadrícula de bloques blancos y rojos, de 1 x 3 m cada uno. El ángulo del acceso respecto a la vía principal no debe superar los 5°. El ancho de las rampas debe ser adecuado para permitir el ingreso a más de un vehículo, ya que no es poco común que dos o más vehículos necesiten utilizar la rampa dentro de un tiempo corto. El ancho óptimo debería estar entre los 10 y 12 m. En condiciones adversas del tipo de terreno (p. ej. rampa ubicada en un terraplén alto o una ladera) que involucre para el conductor un riesgo adicional de salida del camino, se recomienda la instalación de una barrera de contención.

5.4. Profundidad

La cama de frenado debe ser construida con una profundidad de 0.6 a 1 m. Para evitar deceleraciones excesivas, la profundidad de la cama al inicio es de 7 a 10 cm con una zona de transición de 30 a 60 m, incrementando la profundidad paulatinamente hasta llegar a la total. Para permitir el drenaje se recomienda que la base de la cama tenga un bombeo del 2%.

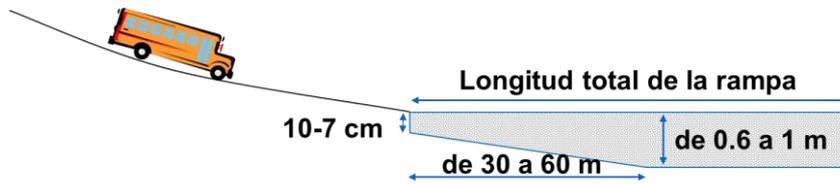


Figura 4. Esquema típico de una rampa de frenado

5.5. Tipos de material

Los materiales a ser utilizados en la superficie de las rampas deben ser limpios sin contenido de finos, además no deben ser fáciles de compactar y contar con un alto coeficiente de resistencia al rodado. El uso de un tipo de material grande y de tamaño regular disminuye los problemas derivados de la retención de humedad y congelamiento, así como también minimiza el mantenimiento requerido.

El material utilizado con mayor frecuencia es la gravilla de tamaño uniforme, suave, redondeada y no comprimida, cuyo tamaño ideal debe estar comprendido dentro del rango $\frac{1}{4}$ " a $1\frac{1}{2}$ " y con un promedio de las mismas entre $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ ". No obstante lo anterior, también puede utilizarse grava suelta y arena [4].

Para evaluar la durabilidad y resistencia al desgaste del material tipo grava o gravilla en las rampas, debe realizarse la determinación del desgaste mediante la máquina de Los Ángeles, considerándose como máximo un valor de 30% según LNV 75.

5.6. Drenaje

El drenaje es un factor fundamental en la vida útil de las rampas, ya que un drenaje inadecuado puede llevar a la acumulación de partículas finas que llenen los huecos, compacte el material ocasionando una reducción del rendimiento de la rampa, también en climas fríos el congelamiento anula la eficacia del lecho [5].

Una de las medidas básicas consiste en diseñar la rampa con una pendiente en la base e instalar un dren longitudinal para interceptar y drenar las aguas que entren al lecho, sumado a sistemas de subdrenes transversales, principalmente en zonas de elevada precipitación pluvial [6]. Otra recomendación es el uso de geotextiles o pavimento para evitar la infiltración de material fino desde el suelo natural y evite el drenaje del agua al pasar por la cama de frenado.

5.7. Mantenimiento

Ciertos tipos de actividades de mantenimiento son esenciales para el funcionamiento adecuado de las rampas. El mantenimiento requiere de un equipo adecuado, que asegure que la rampa esté de vuelta en funcionamiento en un período mínimo de tiempo. Con esto también se asegura que los trabajadores abocados a esta tarea no estén expuestos a la posibilidad que un vehículo fuera de control necesite utilizar la rampa.

Para evitar su compactación, las rampas deben exentas de contaminantes, escarificadas y graduadas a intervalos periódicos, incluso si no han sido utilizadas; lo anterior para mantener las características de contención del material en el lecho de frenado y el buen drenaje del mismo. Estas actividades se deben realizar con mayor razón si ha sido utilizada una rampa.

5.8. Rescate de vehículos

El diseño adecuado de una rampa no sólo debe estar orientado a que los vehículos fuera de control sean salvados de un alto riesgo de accidente, sino que además debe contemplar disposiciones para facilitar la remoción de los vehículos por medio de grúas u otros equipos de servicio. Para ello es indispensable diseñar un carril auxiliar de servicio y señalamiento, de manera tal que en conjunto formen un diseño integral de las rampas de frenado y se ofrezca una mayor seguridad al momento de ingresar en este tipo de dispositivos.

El carril auxiliar debe diseñarse de manera tal que el conductor que viene en un vehículo fuera de control no lo confunda con la cama. Lo anterior tiene especial relevancia en una conducción nocturna o condiciones climáticas desfavorables. Para ello debería disponerse de un carril auxiliar con un ancho mínimo de 3 m, adyacente a la cama de frenado y al mismo costado donde se ubica la carretera. Este carril auxiliar debe permitir el acceso a camiones de remolque que acudan a retirar los vehículos atrapados. Se recomienda que el carril sea pavimentado, especialmente en zonas de lluvias, sin embargo también puede ser de material granular; también se sugiere que dentro de lo posible que el carril auxiliar retorne al camino principal.

6. CASO DE ÉXITO

A manera de conclusión difundimos un caso de éxito. Un vehículo pesado con 28 mil litros de alcohol iso-propílico se le rompió una manguera de los frenos y no tenía las condiciones para circular por la curva “La Pera”; de no haberse detenido en la rampa hubiera ocasionado consecuencias catastróficas. Posteriormente, el vehículo fue retirado de la rampa, se le arregló la manguera rota y continuó su trayecto.



Figura 5. Caso de éxito del uso de una rampa de frenado

RECONOCIMIENTOS

Esta investigación fue financiada con fondos de la Red Temática de Accidentes Viales (número 253411), como parte del programa de Redes Temáticas 2015 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT).

REFERENCIAS

1. AASHTO, (2001). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Washington, EE.UU.
2. AASHTO, (1996). Roadside Design Guide, Washington, EE.UU.
3. CAPUFE y IMT, (2007). Análisis, diagnóstico y proyecto ejecutivo de 16 rampas de emergencia en autopistas, Informe final, México.
4. AASHTO, (2001). Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, 19th ed. Washington, EE.UU.
5. Leal B, Jesús M y Perelló B, Marcos, (1995). Lechos de frenado, principales parámetros de diseño, Centro de estudios de carreteras del CEDEX, Ministerio de Fomento, España.
6. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, (2007). Norma APROY-NOM-036-SCT2-2007 Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana "Rampas para frenado de emergencia en carreteras", México.

CARRETERA 2+1 ¿UNA SOLUCIÓN PARA MÉXICO?

E. MUÑOZ

Universidad Autónoma de Nuevo León

emmanuel.muoz@gmail.com

C. CUEVAS

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

ccuevas@imt.mx

RESUMEN

Antecedentes

La Organización Mundial de la Salud dicta que los traumatismos causados por el tránsito constituyen un problema importante pero descuidado de la salud pública mundial, cuya prevención efectiva y sostenible requiere esfuerzos concertados. En México cada año mueren más de 15 mil personas por colisiones de tránsito; además, está demostrado que algunas características de la infraestructura constituyen un factor de riesgo tanto para la ocurrencia como para la severidad de los siniestros.

Países como Suecia, Dinamarca, Finlandia, Alemania y Francia reaccionaron a la problemática, que presentaban las carreteras de 2 carriles, que normalmente comunican zonas rurales y que además por el flujo vehicular al que le dan servicio no se justifica construir una autopista o una carretera de 4 carriles.

Sobre las bases de las consideraciones anteriores, surgió la idea de la construcción de las carreteras 2+1, la cual fue implementada por primera vez en Suecia en los años 90s, como una de las tantas medidas de la “Visión Zero” que tiene como objetivo que no ocurra ninguna muerte y/o lesión grave en carreteras.

Objetivo del Artículo

El objetivo de este artículo es mostrar el estado del arte sobre las carreteras 2+1 aplicadas en diferentes países como Alemania, Francia, Finlandia, Dinamarca y Suecia, y posteriormente de la investigación probar la hipótesis de que “La modificación de carreteras de cuota de 2 carriles a carreteras 2+1 con barrera de cables reducirá en más del 40% las víctimas (muertos y lesionados) por colisiones frontales y laterales”, mediante la determinación de los requerimientos internacionales físicos y técnicos de las “carreteras 2+1” que mejor se adapten a las condiciones de las carreteras de nuestro país, para así evaluar los beneficios en materia de Seguridad Vial que se obtendrían con dicha modificación, comparando con los resultados obtenidos en otros países que ya han implementado este tipo de carretera.

Metodología

Como primera fase para llevar a cabo este estudio y que constituye el presente artículo, se realizó una búsqueda exhaustiva de información referente a operación, características de diseño y desempeño en seguridad vial de las carreteras 2+1. Tomando como referencia aquellos países que ya las implementaron en su red carretera y que además se tienen estudios de los resultados obtenidos y/o esperados.

En la segunda fase se seleccionarán las carreteras que representan la población de estudio, las cuales cumplen con las características necesarias para poder modificarlas a carreteras 2+1. Dentro de los criterios de selección están: el tránsito diario promedio anual

(TDPA), número y tipo de accidentes, número de muertos y lesionados, y la información de siniestralidad que se recopiló de estas carreteras, toma como referencia las bases de datos de los anuarios estadísticos de accidentes.

Se seleccionarán al menos tres carreteras, obviamente aquellas que presenten altas tasas de siniestralidad y características de operación que puedan ser mejoradas al modificarlas a carreteras “2+1”; y se estimará la reducción en el número de accidentes para hacer un análisis beneficio-costos.

Cabe mencionar que de las carreteras seleccionadas, se identificarán los tramos que presenten los valores de siniestralidad elevados para enfocar el análisis en ellos. Esto se realizará de tal forma que nos permita obtener un resultado más favorable en el análisis beneficio-costos.

1. PROPOSITO Y ALCANCE DEL DOCUMENTO

Se ha demostrado que en las carreteras de cuota de dos carriles el índice de severidad es más elevado que en carreteras libres de dos carriles. Dejando un saldo de víctimas considerable. Es por lo anterior, que se pretende evaluar la aplicación de las carreteras 2+1 en carreteras de cuota de dos carriles en México, y obtener una estimación de resultados en la reducción de víctimas, similares a los de otros países de referencia que ya lo han implementado.

Además, si se obtienen resultados que afirmen la hipótesis planteada, este documento servirá como consulta para empezar a implementarlo en carreteras con problemas y características similares, y de esa manera contribuir con el objetivo del Decenio de acción para la seguridad vial.

Actualmente no se cuenta con información metodológica de este tipo de carreteras en México, ni el costo que pudiera generar su modificación o construcción. Solamente se cuenta con carriles de ascenso (tercer carril de ascenso) y descenso para vehículos lentos y/o pesados en algunas carreteras de 2 carriles del país, las cuales tienen en parte el mismo objetivo, evitar la formación de colas de vehículos o pelotones y darle mayor flujo a la carretera.

2. CONCEPTO DE CARRETERA 2+1 Y SU USO INTERNACIONAL

2.1. Concepto

Carretera 2+1 se le denomina a aquellas carreteras que se componen de 3 carriles circulación y una división central, la cual puede ser mediante una barrera de cables tensados, barrera de concreto o simplemente marcas sobre el pavimento. La configuración que deben tener estos tres carriles, es que 2 de ellos (el central y el de un extremo) se utilicen en cierto tramo para un sentido, y posteriormente se alterne el carril central para el otro sentido que solamente tenía un carril de circulación.

El carril central se deberá estar alternando en intervalos regulares, modificando el trazo de la barrera central, que servirá para separar los sentidos y evitar los choques frontales. Esta alternancia tiene el objeto de permitir que ambos sentidos efectúen la maniobra de rebase de manera segura; un sentido a la vez. Es decir, mientras un sentido tiene el carril

de rebase, el otro sentido tiene que esperar hasta que se invierta el sentido del carril central, véase figura 1.

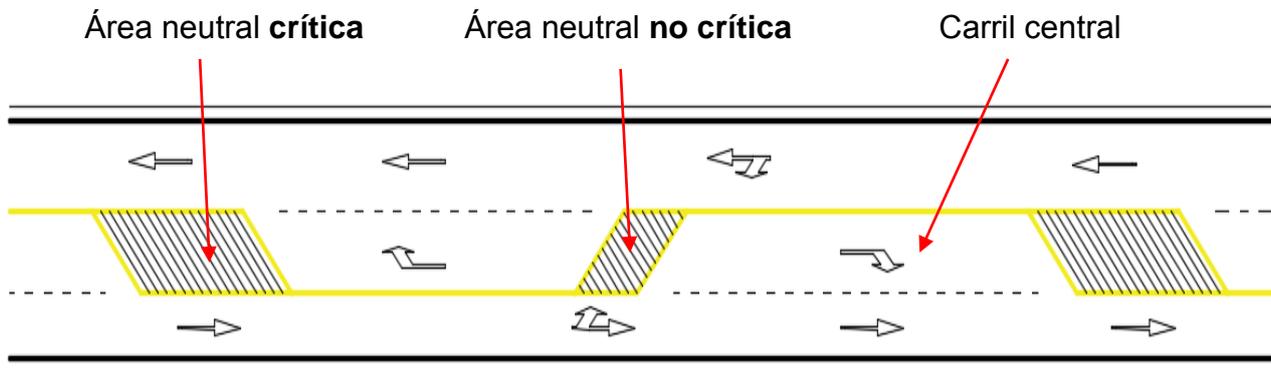


Figura 1.- Esquema de carretera 2+1 (Fuente: Propia).

Tal como se observa en la figura anterior, se presentan a lo largo de la carretera 2+1 áreas neutras críticas y áreas neutras no críticas. Se le llama áreas neutras críticas a las zonas donde converge el carril central y el del extremo, o sea en el punto donde desaparece el carril central para cierto sentido. Ya que el vehículo que utiliza el carril central tiene que acelerar para incorporarse al carril del extremo, buscando el intervalo para evitar chocar lateralmente. Cabe mencionar que en la parte central de las áreas neutras críticas, solamente se tienen 2 carriles en toda la sección, siendo esta parte antecedida por la transición de convergencia para ambos sentidos de circulación. Y se le llama áreas neutras no críticas a aquellas zonas que se encuentran donde comienza el carril central para cada sentido de circulación, y se le denomina de tal manera ya que no se presenta riesgo alguno al realizar la maniobra de acceder al carril central.

Son precisamente las maniobras de convergencia o divergencia las que definen la longitud del área neutral, es decir; el área neutral tiene mayor longitud cuando se encuentran en las zonas críticas (convergencia) y menor cuando se encuentran en las zonas no críticas (divergencia). De manera que se prevé que si algún vehículo no llegará a completar su maniobra de incorporación al carril extremo, tiene un espacio para completar la maniobra.

Operación y aspectos generales

Las reglas de operación se basan en que los vehículos lentos y/o de carga deberán mantenerse en los carriles extremos, permitiendo a los que viajan más rápido utilicen el carril central para rebasar, y así evitar la formación de pelotones o colas.

Cada país que ha implementado carreteras 2+1 ha realizado estudios para determinar el intervalo de longitud para alternar el carril central, coinciden en que no debe ser muy corto por que propician maniobras de rebase arriesgadas, pero tampoco muy largo porque se presentaría el caso de que el carril no sea utilizado en su totalidad.

Estas carreteras tienen la característica de que mejoran el nivel de servicio sin aumentar la capacidad vial propiamente.

Caso Alemania

Alemania antes de implementar la Carretera 2+1, contaba con dos tipos de carreteras de 2 carriles de diferentes características:

- La primera se distinguía por tener acotamientos amplios pavimentados, con el objetivo de resguardar vehículos que por alguna causa tuvieran que orillarse en la carretera o circular más lento. Por ejemplo: averiados, de emergencia, agrícolas, o de mantenimiento, etc.
- La segunda carretera proveía carriles de circulación amplios, con el objeto de que los vehículos lentos se orillaran y permitieran pasar a los más rápidos.

Posteriormente en 1996 implementaron la carretera 2+1, pensando que no ocuparían añadirle la barrera de cables, optando por las marcas en el pavimento. Por lo que estandarizaron la sección transversal denominándola “RQ15.5” dentro los “Lineamientos para Secciones Transversales” [2], véase Foto 1.



Foto 1.- Carretera 2+1 en Alemania (Fuente: Google maps).

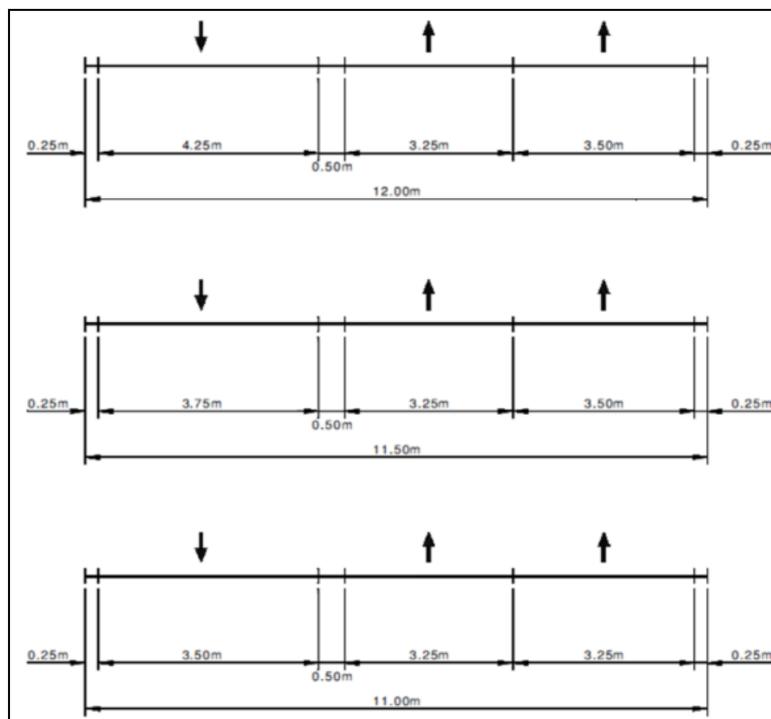


Figura 2.-Sección Típica 2+1 utilizada en Alemania (Fuente: Referencia 1).

La Figura 2 muestra las tres configuraciones de las carreteras 2+1 utilizadas comúnmente en Alemania, notando que cada una tiene un ancho diferente de sección y que obedece al

espacio disponible; pero que a criterio de los autores estas variantes podrían ser en función de los vehículos a los que le dé servicio la carretera. Se podría asumir que la sección con mayor ancho será para carreteras que den servicio a flujo mixto (vehículos pesados y ligeros), ya que manejan un ancho de carril mayor a las demás. Mientras que para la sección de menor ancho, seguramente da servicio en caminos rurales donde no se permite el tránsito de vehículos pesados. Además se puede observar que en las tres secciones típicas no hay variación en el acotamiento ni tampoco en la separación de los sentidos, siendo únicamente el ancho de los carriles los que varían dependiendo la sección.

A continuación se muestra a manera de resumen las características principales de las carreteras 2+1 en Alemania, la cual contiene datos de la sección y longitudinales (ver Tabla 1).

Tabla 1.- Características de la Carretera 2+1 en Alemania (Fuente: Propia).

Características	Medidas
Ancho de Calzada	11.0, 11.5, 12.0 m
Separación de sentidos	0.5 m
Ancho de Acotamiento	0.25 m
Ancho de Carriles	3.25, 3.50, 3.75, 4.25 m
Bombeo	Hacia un solo lado
Límite de Velocidad	100 km/hr
Longitud de Transición Crítica	180 m
Longitud de Transición No Crítica	30-50 m
Tipos de Vehículos	Ligeros/Carga
Longitud del carril de rebase	1.0-1.4 km
Intervalo de carril de rebase	1-2 km *
Capacidad	----
TDPA p/justificación de vía	8,000-22,000 veh/día

* Dependiendo del Alineamiento

Después de la implementación de este concepto, se notó una disminución en las muertes por accidentes, lo que motivo a profesionistas de la materia a investigar el rendimiento que se estaba presentando. Por lo que en el 2003 se realizó un estudio [2] en el cual analizaron siete tramos de carreteras 2+1 con una longitud total de 60 kilómetros, de las cuales recabaron información de los accidentes ocurridos de 1999 al 2001. Se comparó la estadística y se observó que en el año 2000 se tuvieron en toda la red 38,754 accidentes, de los cuales 5,816 (15%) fueron choques de frente, y en los tramos analizados en un periodo de 3 años (1999-2001) solamente se tuvieron 3 choques de este tipo. No obstante se menciona que durante el estudio no hubo ninguna evidencia en la disminución u obstrucción del flujo vehicular, ni creación de colas; por la apertura de la vía al tránsito mixto. A pesar de que se observaron algunas bicicletas y poca presencia de vehículos pesados.

Otro estudio realizado obtuvo información de accidentes vehiculares (véase tabla 2), donde se puede observar los valores de TDPA y las tasas de accidentes para diversos tipos de carreteras utilizadas en Alemania. Con base en los datos disponibles, se observó que a pesar de que en la carretera 2+1 el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) es mayor en un 45% en promedio de las carreteras de dos carriles con acotamientos anchos, la tasa de accidentes con víctimas es menor en un 15% aproximadamente. Esto nos indica el buen desempeño operacional que tiene en la Seguridad Vial y el impacto positivo

generado. La comparación se realizó solamente con las carreteras de dos carriles con acotamientos anchos a fines de utilidad para el estudio. Ya que las carreteras seleccionadas para modificación en México; tienen la misma característica de acotamiento ancho. Estas fueron diseñadas de tal manera de que el acotamiento tuviera dos funciones, ya sea para que pudiesen estacionarse en caso de emergencia, y/o para que aquellos vehículos que estuviera transitando lento como por ejemplo los de carga; pudiesen orillarse y permitir ser rebasados.

Tabla 2.- Tasa de accidentes típicos para varias secciones en carreteras en Alemania (Fuente: Referencia 1).

Carriles	Tipo de Vía	TPDA (veh/día)	Tasa de Accidentes (por 10 ⁶ veh-km)	
			Accidentes con víctimas	Total de accidentes
6	Autopista libre	61,000	0.13	0.35
4	Autopista libre	31,000	0.13	0.39
4	Carretera dividida con acotamientos anchos	19,500	0.15	0.37
4	Carretera dividida	16,600	0.19	0.39
4	Carretera no dividida	12,100	0.21	0.39
2+1	Carretera	14,100	0.16	0.28
2	Carretera con carriles anchos	11,900	0.28	0.49
2	Carretera con acotamientos anchos ²	9,800	0.19	0.35
2	Carretera (convencional)	10,300	0.25	0.39
2	Carretera (carriles angostos)	3,500-6,300	0.22-0.44	0.39-0.71

² Con hombros pavimentados lo suficientemente amplios para que puedan utilizarse para rebasar

PDO = Daños en propiedad solamente

Caso Loira, Francia

Este departamento se encargó de construir una carretera 2+1 con una longitud de 9.0 km aproximadamente, denominada RD 201 con longitud total de 10 km, la cual soportaba un tráfico de 30,000 veh/día, véase Foto 2 y 3.



Foto 2.- Carretera 2+1 en Francia (Fuente: Google maps).



Foto 3.- Carretera 2+1 en Francia (Fuente: Google maps).

Esta presentaba un índice de accidentes graves que en comparación con la media, no era superior, sin embargo el número de muertos en choques frontales era claramente superior a la media nacional.

Inicialmente la separación de los sentidos de circulación era únicamente con pintura, hasta que en los 90's llevaron a cabo diversas soluciones para reducir los accidentes en estas carreteras; por mencionar algunas:

- Refuerzo de las marcas horizontales, enmarcando la línea divisoria color blanca a una línea color rojo.
- Modificación de los intervalos del carril central.
- Refuerzo del señalamiento vertical y en las zonas de intercambio del carril central.

Estas soluciones fueron efectivas por muy poco tiempo, ya que se seguían presentando rebases en zonas indebidas y no respetaban el señalamiento horizontal, provocando nuevamente un alza en el número de muertos por choques de frente, por lo que llegaron a la conclusión que debían separar por completo ambos sentidos, proponiendo una barrera central de concreto; que impidiera la invasión de vehículos al sentido opuesto. La única modificación que tuvieron que realizar, fue disminuir un poco el carril central (carril de rebase) para alojar la barrera central sin tener que ampliar la sección, y por cuestiones de dimensión y operación se restringió el uso de este carril a vehículos pesados.

Además a lo largo de este tramo de carretera 2+1 se dejaron zonas de resguardo vehículo que necesitaran detenerse sin interrumpir el flujo de tránsito. De igual manera se construyeron accesos a través de la barrera central para facilitarle las maniobras a vehículos de emergencias o para evacuación de vehículos accidentados, ya que el acotamiento no era del ancho suficiente para que protegiera a un vehículo y/o fuera transitable.

La modificación del tramo de 9.0 km de la carretera a 2+1 se realizó en 3 Fases [4]:

- Primera Fase en 1997, del PR0 al PR2+500,
- Segunda Fase en 1999, del PR2+500 al PR5+500
- Tercer Fase en 2000, del PR5+500 al PR9

Se consideró para el análisis que, de 1988 a 1977 (10 años) no se contaba con la solución de la barrera en las vías 2+1, si no que fue a partir de 1998-2003 (6 años), y se obtuvo un Índice de Mortalidad por Fase en su periodo correspondiente; antes de la solución y con la solución.

Tabla 3.- Resultados de accidentalidad obtenidas en las tres fases realizadas de vías 2+1
 (Fuente: Referencia 4).

AÑO	FASE 1, OBRAS DE 1997			FASE 2, OBRAS DE 1999			FASE 3, OBRAS DE 2000		
	MUE	HGR	HLE	MUE	HGR	HLE	MUE	HGR	HLE
1988	1	0	1	1	0	0	0	0	1
1989	0	2	5	0	1	1	0	1	2
1990	0	2	4	0	0	1	0	2	5
1991	0	0	0	0	0	2	0	1	2
1992	0	0	2	0	0	1	0	0	0
1993	0	1	2	0	0	0	1	0	0
1994	0	1	1	1	1	2	0	1	1
1995	0	1	1	1	2	1	0	2	3
1996	0	0	2	0	0	2	2	1	1
1997	1	0	0	0	0	0	1	0	2
1998	0	0	1	0	1	2	0	0	2
1999	0	0	0	0	1	0	0	0	1
2000	0	0	2	1	0	1	0	0	3
2001	0	1	1	0	0	0	0	0	2
2002	0	1	2	0	0	1	0	0	5
2003	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Con base en la Tabla 3, se obtuvo una reducción en el número de muertes en las carreteras 2+1, al comparar la tasa anual; en un periodo de 10 años antes de aplicar la solución se contabilizaron nueve muertes (0.9 muertes/año, 1988-1997), y se redujo a una muerte en seis años (0.167 muertes/año, 1998-2003). Lo que nos indica una reducción de 81.44%.

Tabla 4.- Resultados de accidentalidad obtenidos en el conjunto de vías departamentales del Departamento de Loira, en el periodo 1988-2003 (Fuente: Referencia 4).

CONJUNTO DE VÍAS DEPARTAMENTALES DEL DEPARTAMENTO DE LOIRA									
AÑO	MUE	HGR	HLE	TOTAL	MUE/ TOT (%)	HGR/ TOT (%)	HLE/ TOT (%)	COSTE (EUROS)	ÍNDICE
1988	41	280	429	750	5.47%	37.33%	57.20%	59,452,000	1.45
1989	40	252	358	650	6.15%	38.77%	55.08%	54,735,000	1.34
1990	49	255	368	672	7.29%	37.95%	54.76%	60,630,000	1.48
1991	49	189	246	484	10.12%	39.05%	50.83%	51,945,000	1.27
1992	31	187	226	444	6.98%	42.12%	50.90%	40,515,000	0.99
1993	33	154	258	445	7.42%	34.61%	57.98%	39,465,000	0.96
1994	30	157	239	426	7.04%	36.85%	56.10%	37,507,500	0.92
1995	37	151	246	434	8.53%	34.79%	56.68%	41,325,000	1.01
1996	40	127	189	356	11.24%	35.67%	53.09%	39,682,500	0.97
1997	38	150	234	422	9.00%	35.55%	55.45%	41,565,000	1.02
1998	37	145	202	384	9.64%	37.76%	52.60%	39,795,000	0.97
1999	31	110	201	342	9.06%	32.16%	58.77%	33,022,500	0.81
2000	27	125	294	446	6.05%	28.03%	65.92%	34,065,000	0.83
2001	32	105	244	381	8.40%	27.56%	64.04%	34,140,000	0.83
2002	19	84	212	315	6.03%	26.67%	67.30%	23,730,000	0.58
2003	23	63	161	247	9.31%	25.51%	65.18%	23,092,500	0.56
TOTAL	557	2534	4107	7198	7.74%	35.20%	57.06%		
MEDIA								40,916,718.8	

Índice: relación entre el coste de los accidentes de un año y la media de los costes anuales (en euros). Costes: de un accidente mortal (MUE), 600,000 euros; de un accidente con heridos graves (HGR), 90,000 euros; de un accidentes con heridos leves (HLE), 22,500 euros.

Además, con base en la Tabla 4, se presenta una disminución general en las muertes por accidentes viales en todas las carreteras del Departamento de Loira. Con 386 muertes en un periodo de 10 años (38.6 muertes/año), a 169 muertes en 6 años (28.16 muertes/año). Si expresamos lo anterior en porcentaje, nos indica que se obtuvo una disminución del 27.05% en toda la red carretera.

Como podemos observar después de haber realizado el análisis en las tablas mostradas, podemos concluir que a nivel regional de la red carretera; se está llevando a cabo un programa con el objeto de reducir las muertes. Ya que obtuvimos una reducción general en toda la red de 27.05%, y solamente para las vías en las que se implementaron la solución 2+1 con barrera de concreto; una reducción de 67.19%.

Caso Dinamarca

Motivados por los buenos resultados que se observaron en otros países, Dinamarca comenzó en 1993 con la modificación de sus vías de dos carriles a 2+1 con una carretera de 5.2 km; en la cual inicialmente utilizaron pintura para dividir los sentidos de circulación en vez de barreras, y conservando el mismo ancho, véase Foto 4.



Foto 4.- Carretera actual 2+1 en Dinamarca (Fuente: Referencia 5).

Dinamarca optó por establecer un rango para la longitud del carril central de 0.35 a 1.55 kilómetros, el cual consideraron sería el óptimo para la velocidad límite de 80 a 90 km/h establecida para este tipo de carretera, tomando en cuenta que le darían servicio a vehículos ligeros y de carga.

Un estudio de antes y después realizado en las carreteras que se modificaron a 2+1 reflejó que el desempeño en la seguridad vial fue de una reducción del 73 % de los accidentes con muertos, superando por mucho las expectativas que estimaban una reducción del 18% (véase tabla 6).

Tabla 6.- Número de accidentes antes y después de instalar las marcas de las carreteras 2+1 (Fuente: Referencia 1).

Tipo de Accidente	Observado		Expectativas
	Periodo Anterior	Periodo Siguiete	Periodo Siguiete
Lesionado	61	49	50
Lesionado + PDO	103	99	85
Lesionado + Muertos	100	83	83
Muertos	11	3	9

PDO = Daños en propiedad solamente

El desempeño en la Seguridad Vial de marcar la carretera como 2+1, fue tal que se tuvo una disminución aproximada del 73% en el número de muertos; comparando con el valor que se tenía en el periodo anterior en la misma vía; inclusive superó las expectativas en la estimación del resultado que obtendrían al implementarlo.

Caso Finlandia

En Finlandia la única modificación que se realizó para adaptar sus carreteras de dos carriles a carreteras 2+1 fue con las marcas de pavimento, conservando el ancho de 13 m (véase figura 3). Actualmente desean cambiar su sección agregándole barrera de cables y 1.35 m de ancho como acotamiento interno, siendo que para estas condiciones estiman obtener una reducción del 80% en los accidentes (véase figura 4).

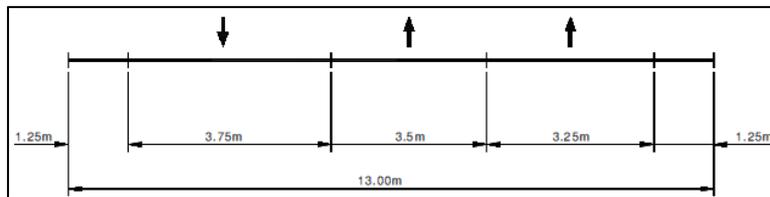


Figura 3.-Sección de carretera 2+1 sin barrera utilizada en Finlandia (Fuente: Referencia 1).

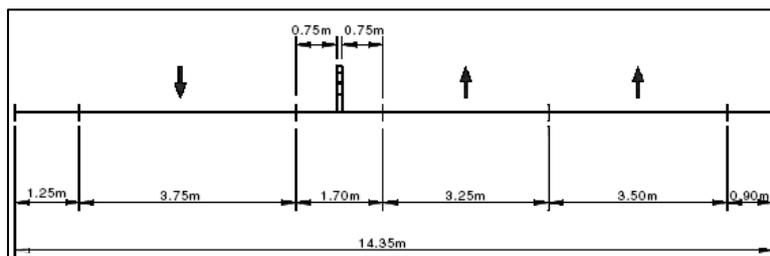


Figura 4.-Propuesta de modificación de la sección de carretera 2+1 con barrera en Finlandia (Fuente: Referencia 1).

A fin de que los usuarios no tuvieran confusión alguna con la adición y desaparición del carril central, los finlandeses optaron por marcar las áreas neutrales de manera que se distinguieran las áreas neutrales críticas de las no críticas. Las primeras mencionadas son marcadas en una longitud total de 500m, las cuales se componen de tres tramos. En el primer tramo de 200 m se tiene la reducción del ancho del carril central hasta la desaparición del mismo. Posteriormente en el segundo tramo se tiene una longitud de 100 m en la cual el carril central ya forma parte del área neutra, y solamente se tiene un carril por sentido. El tercer tramo corresponde a la reducción del carril central para el sentido de vehicular opuesto, conservando las mismas características del primer tramo con longitud

de 200 m. Las áreas neutras no críticas tienen una longitud total de 50 m y se componen de dos tramos de 25 m cada uno. El primer tramo tiene la función de marcar la incorporación al carril central del sentido opuesto mientras que en el otro se mantiene en un carril. Y de manera inversa el segundo tramo, indicando la aparición del carril central mientras que en el sentido opuesto se mantiene un carril (véase figura 5). La diferencia en la longitud total de ambas áreas neutras se debe a que en una de ellas la probabilidad de un choque frontal es mayor, siendo esta el área neutra crítica. Por lo que se le provee de una longitud de amortiguamiento, la cual puede ser utilizada en el caso de que el vehículo no haya podido reincorporarse al carril extremo, y no invada el carril central del sentido opuesto.

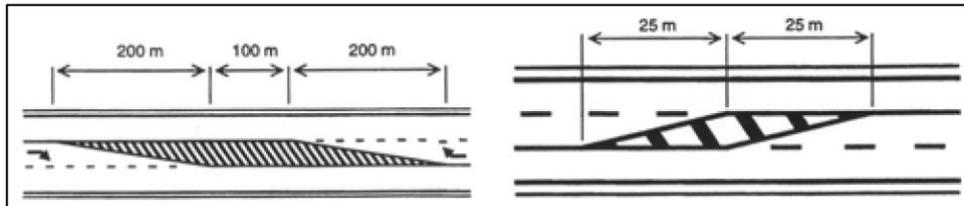


Figura 5.-Dimensiones del área neutra en la adición y desaparición del carril central en Finlandia (Fuente: Referencia 1).

Debido a que la carretera 2+1 empleada en este país no cuenta con barrera central, el señalamiento vertical juega un papel fundamental en el desempeño operacional de la misma. Este señalamiento es colocado a los costados de la carretera, indicando el sentido de circulación del carril central y la longitud del mismo, la proximidad de la desaparición del mismo carril en dos puntos dentro de la longitud del carril central, y con texto previniendo a los usuarios que en un kilómetro nuevamente se abrirá el carril central. La redundancia del señalamiento vertical en este tipo de vía no genera ninguna contaminación visual, si no en caso contrario; de que se va manteniendo informado en todo momento a los conductores de cómo, cuándo y dónde utilizar este carril para rebasar. En la siguiente figura se muestra un esquema típico de los tipos de señalamientos utilizados, y así como en donde deberá ser colocado.

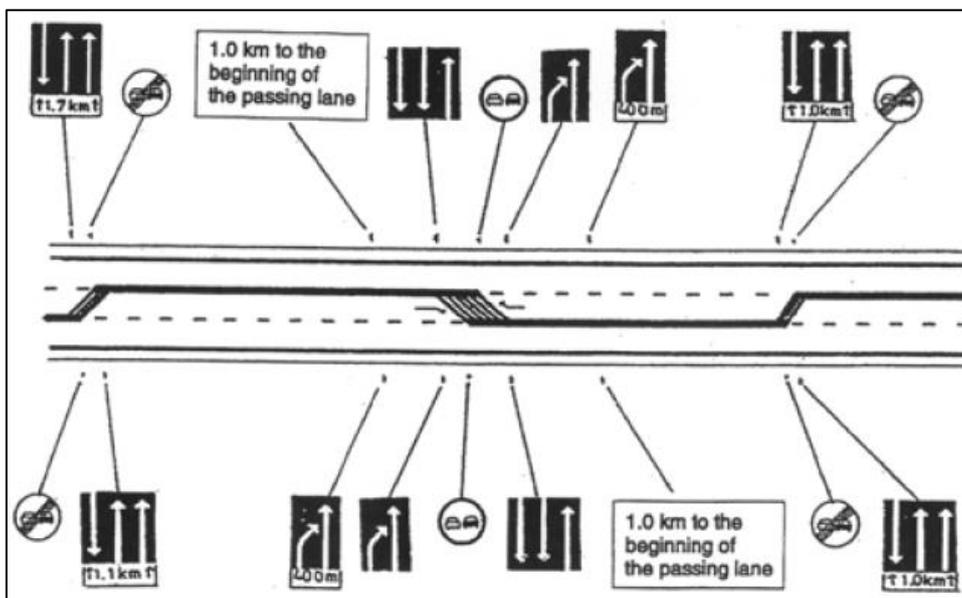


Figura 6.-Señalamiento horizontal y vertical en carretera 2+1 en Finlandia (Fuente: Referencia 1).

Se sabe que un riesgo inminente que se tiene en carreteras de dos carriles, es la maniobra de vuelta izquierda directa. Ya que en estos casos se pueden presentar varios tipos de choques, como pudiera ser por alcance, frontal y lateral. Es por eso que Finlandia al construir las carreteras 2+1 decidió eliminar este tipo de vueltas. Convirtiéndolas en vueltas izquierdas indirectas, en donde proporciona un carril de divergencia con su respectiva longitud de desaceleración, y con visión para ambos sentidos de la carretera. Y así permita al conductor realizar el cruce de la carretera a 90 grados. A diferencia de otros países que optaron por mantener todo cruce de intersecciones a desnivel, Finlandia prefirió mantener estos movimientos direccionales a nivel, adecuando únicamente la maniobra como se menciona a principio de este párrafo.



Foto 5.-Ejemplo de adición de carril central en Finlandia (Fuente: Referencia 1).

A manera de resumen, se muestra a continuación una tabla con información recopilada referente a las medidas de diseño de estas carreteras así como características de operación.

Tabla 7.- Características de la carretera 2+1 en Finlandia (Fuente: Propia).

Características	Medidas
Ancho de Calzada	13.0 m
Separación de sentidos	Marca c/pintura
Ancho de Acotamiento	1.25 m
Ancho de Carriles	3.25, 3.50, 3.75 m
Bombeo	Hacia un solo lado
Límite de Velocidad	100 km/hr
Longitud de Transición Crítica	500 m
Longitud de Transición No Crítica	50 m
Tipos de Vehículos	Mixto
Longitud del carril de rebase	1.5 km
Intervalo de carril de rebase	----
Capacidad	1,600-1,900 veh/hr
TDPA p/justificación de vía	

* Dependiendo del Alineamiento

Con base en la estadística disponible de este país; se realizó la siguiente tabla con valores estimados de accidentes, bajo el supuesto de la instalación de la barrera central a las carreteras de 2+1 sin barrera central.

Tabla 8.- Características de la carretera 2+1 en Finlandia (Fuente: Propia).

Tipo de Carretera	Tasa: Accidentes con Lesionado (acc/10 ⁸ veh-km)	Accidentes Fatales (acc/10 ⁸ veh-km)
2+1 sin barrera central	8	1.3
2+1 con barrera central	7	0.7

Al comparar la estimación de la tasa de accidentes fatales de las carreteras 2+1 con barrera con la tasa actual de la misma carretera que no cuenta con barrera, podemos notar que hay una reducción de aproximadamente 55%. Lo que nos indicaría el buen desempeño que se tendría en Seguridad Vial al colocar la barrera con cables tensados; salvando gran número de vidas en las carreteras.

Caso Suecia

Siguiendo la política de “Visión Zero” y con recursos limitados, los suecos idearon una solución que en primera instancia pensaron no sería tan buena; las carreteras 2+1, para ello no tenían que hacer grandes modificaciones ya que las vías contaban con un ancho de 13 m y esta medida fue catalogada como de bajo presupuesto. Inicialmente la separación de sentidos era mediante pintura y posteriormente con barrera de cables tensados, véase foto 5.



Foto 6.- Carretera actual 2+1 en Suecia (Fuente: Propia).

Los suecos establecieron que para que una carretera fuera denominada como carretera 2+1, esta debería cumplir con un ancho de 13 metros de tal manera que permita la colocación de tres carriles de circulación y una barrera central con el sistema de cables

metálicos, véase figura 8. En la figura 9 se muestra la sección recomendada recientemente para un ancho de 13m, la cual fue resultado de una revisión de los lineamientos para la sección comúnmente usada de carretera 2+1.

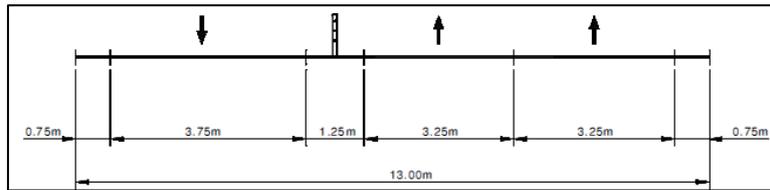


Figura 8.-Sección existente de carretera 2+1 con barrera de cables en Suecia (Fuente: Referencia 1).

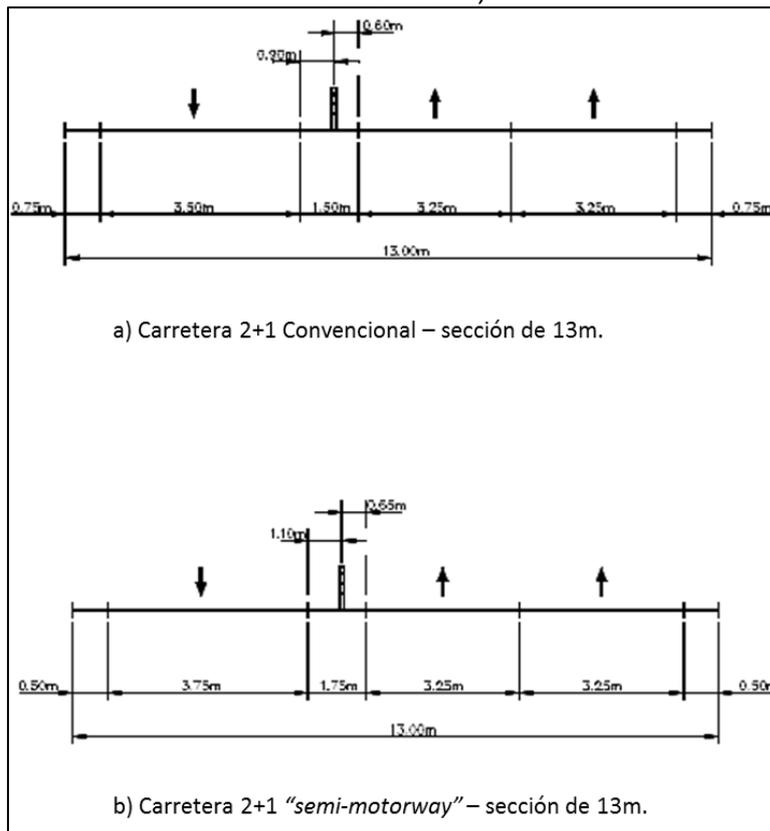


Figura 9.-Sección recomendada de carretera 2+1 con barrera de cables en Suecia, convencional y "semi-motorway" (Fuente: Referencia 1).

Suecia por ser el país pionero en este tipo de carreteras, son los que más estudios y lineamientos tienen al respecto del diseño y operación de esta carretera. La misma experiencia hizo que conforme avanzaba el tiempo pudieran modificar ciertas características para que continuara con la gran reducción de muertes en accidentes.

En la tabla 9 se muestra un listado de la información principal para el diseño de estas carreteras, en la cual propone hasta cierto TDPA para la justificación de la construcción de una carretera 2+1.

La barrera de cables más utilizada por los suecos, que con base en su experiencia ha sido la que mejor desempeño y resultados ha arrojado es la de tipo "CEN N2" que puede estar compuesta por tres o cuatro cables, ver foto 7. Esta se ha sometido a pruebas de choques, en las que se indica que si un vehículo ligero llegara a impactarse contra la barrera a una velocidad de 100 km/hr y a 20 grados de inclinación del eje de la barrera, la

deflexión de los cables que puede ocasionar es de uno a dos metros. A consecuencia de lo anterior mencionado, la separación de 1.25 m [1] se ha decidido que es lo óptimo para el caso en algún vehículo choque contra esta barrera, el vehículo del otro sentido no se vea afectado de que interceda en su camino y choque contra él.

Tabla 9.- Características de la carretera 2+1 en Suecia (Fuente: Propia).

Características	Medidas
Ancho de Calzada	13 m
Separación de sentidos ²	Barrera de Cables
Ancho de Acotamiento	0.5-0.75m
Ancho de Carriles	3.25, 3.5, 3.75 m
Bombeo	
Límite de Velocidad ³	90-100 km/hr
Longitud de Transición Crítica	300 m
Longitud de Transición No Crítica	100 m
Tipos de Vehículos	Mixto
Longitud del carril de rebase	1 - 2 km
Intervalo de carril de rebase	1 - 2 km
Capacidad	1,600-1,700 veh/día
TDPA p/justificación de vía	18,000 veh/día

² El ancho para la barrera es de 1.50 - 1.75m

y la barrera de cables es de modelo CEN N2

³ El límite indicado es para vehículos ligeros, y para vehículos pesados es de 80 km/hr.



Foto 7.- Tratamiento en terminación de la barrera de cables en Suecia (Fuente: Referencia 1).

A diferencia de la carretera 2+1 en Finlandia, Suecia decidió manejar las vueltas izquierdas colocando un carril de almacenamiento central en la carretera. Es decir, para alojar este carril de vuelta izquierda en el tramo que se tiene la intersección, ambos sentidos tienen un solo carril de circulación.

Como es bien sabido que este tipo de carreteras tienen como objeto separar físicamente los flujos vehiculares para evitar los choques frontales. Al diseñar estas carreteras se trata de limitar el número de accesos a lo largo de la misma, es decir intersecciones o cruces peatonales. Pero se debe tener en mente que si el flujo de peatones es importante, se deberá crear la infraestructura necesaria para alojar y/o canalizar a estos; así como para la parada de autobuses, protegiéndolos del flujo vehicular directo. No obstante, esta carretera también debe de contar con aberturas en la faja aproximadamente tres a cinco kilómetros, las cuales solamente deberán ser utilizadas por vehículos de emergencia.

Así mismo, una práctica común al construir estas carreteras es que se tengan solamente dos carriles cuando se tienen puentes largos, tramos en los que hay muchos accesos al camino, peatones frecuentes y ciclistas, o donde la separación no se pueda lograr [1].

Refiriéndonos en el desempeño que han tenido estas carreteras en materia de seguridad vial, diferentes estudios nos han reafirmado el excelente impacto que han generado en la reducción de muertes por choques frontales.

Por ejemplo en un estudio en las carreteras interurbanas convencionales de Suecia; que tienen un límite de velocidad de 90km/h, se presenta una tasa de accidentes que varía de 5.5 a 7.5 muertos por millardo de kilómetros, esto dependiendo de la existencia o no de acotamiento.

Una vez realizada la modificación de estas vías al tipo “2+1”, las tasas bajaron en promedio de la siguiente manera:

- Para vías de 90km/hr: 2 muertos por millardo de kilómetros
- Para vías de 110km/hr: 3 muertos por millardo de kilómetros

Estos datos nos indican de manera general que el Factor de Reducción que se tiene al implementar esta solución, es de 3 [4].

3. SITUACION EN MÉXICO

Se ha demostrado en un estudio del 2012 que el índice de severidad es más elevado para carreteras de cuota de dos carriles, que para carreteras libres de dos carriles, véase figura 10. En un primer análisis exploratorio se seleccionaron 27 carreteras de cuota que cumplen con las características para el objeto de este estudio, de las cuales se obtuvo información de los accidentes viales ocurridos durante el periodo de 2010-2013. Resultando un total de 3,017 colisiones, que dejaron un saldo 791 personas muertas y 3,441 lesionadas.

A continuación se muestra una gráfica con la clasificación de estos accidentes.

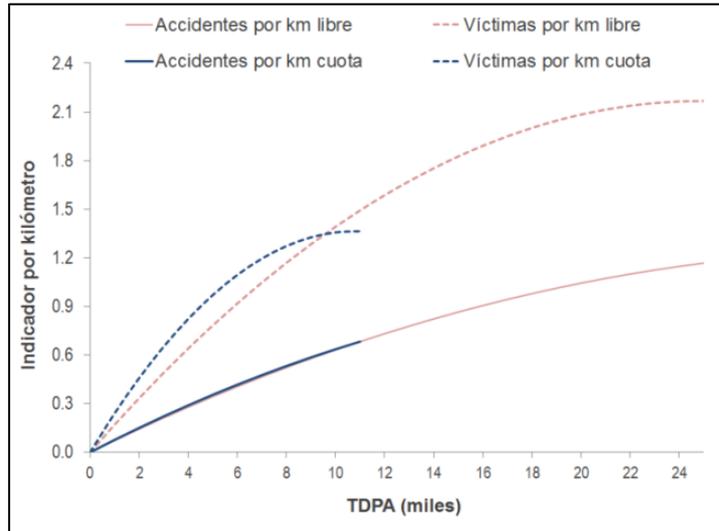


Figura 10.-Comparación de Indicadores de Accidentes en carreteras de 2 carriles libres y de cuota (Fuente: Referencia 6).

De las 27 carreteras identificadas se seleccionaran al menos tres que presenten altas tasas de siniestralidad y características de operación que puedan ser mejoradas al modificarlas a carreteras “2+1”; asimismo, se estimará la reducción en el número de accidentes para hacer un análisis beneficio-costos.

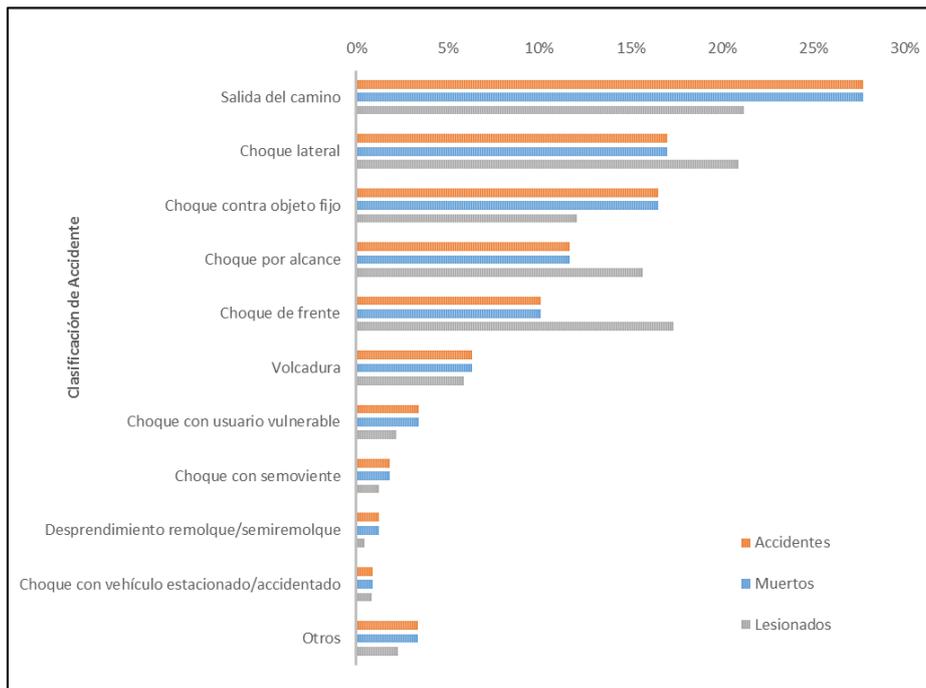


Figura 11.- Clasificación de Accidentes ocurridos del 2010-2013 para carreteras de cuota de 2 carriles (Fuente: Propia).

RECONOCIMIENTOS

Esta investigación fue financiada con fondos de la Red Temática de Accidentes Viales (Número 253411), como parte del programa de Redes Temáticas 2015 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT).

REFERENCIAS

1. B. Pott, Ingrid y W. Harwood, Douglas, *Application of European 2+1 Roadway Designs*, National Cooperative Highway Research Program, USA, 2003, núm. 275, abril de 2003.
2. Weber, Roland et al, “2+1 roads – new findings from Germany”, *Traffic Engineering & Control*, Inglaterra, 2008, volumen 49, núm. 4, abril 2008.
3. Artículo en revista AMIVTAC Vías Terrestres, No. 16, página 14.
4. Gerondeau, Christian et al., “Experiencia sueca y francesa en las carreteras 2+1L vías tan seguras como las autopistas”, *Revista Técnica de la Asociación Española de la Carretera*, España, 4ta época, 2007, núm. 153, mayo-junio de 2007, pp. 26-37.
5. <http://www.fdm.dk/nyheder/hurtigere-mere-sikkert-til-faergen>
6. Artículo en revista AMIVTAC Vías Terrestres, No. 16, página 14.

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA IRAP EN SITIOS DE ALTA CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES

G. PÉREZ, C. CUEVAS, E. ABARCA & A. MENDOZA

Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte, Instituto Mexicano del Transporte
gperez@imt.mx, ccuevas@imt.mx, eabarca@imt.mx, mendoza@imt.mx

RESUMEN

La infraestructura vial es uno de los factores que influyen directamente en la ocurrencia de colisiones de tránsito, la cual es altamente controlable bajo una adecuada gestión, planeación, diseño y construcción de las vías terrestres, naciendo así, la ingeniería de seguridad vial cuyo objetivo es la reducción de las muertes y lesiones ocurridas en las vías a través del diseño de soluciones de mitigación de riesgos en la infraestructura.

Actualmente, existen metodologías para evaluar la seguridad de la infraestructura, tales como los Programas de Evaluación de Carretera conocidos como RAP (Road Assessment Programme), siendo la versión internacional (iRAP) la que se aplicó en México, inspeccionando 45 mil km de la Red Carretera Federal durante 2012. A raíz de este proyecto surge la iniciativa de validar su aplicación como una herramienta para la identificación de sitios de alta siniestralidad.

Como resultado de este estudio se espera avanzar en el conocimiento de la relación infraestructura-accidentalidad, así como en la aplicación de metodologías que evalúen la seguridad vial. Lo anterior se considera relevante dado que en México se continúa utilizando la metodología iRAP, para lo cual es importante establecer una estrategia que atienda los sitios de conflicto en función no solo del riesgo obtenido por iRAP sino también considerando las estadísticas de siniestralidad.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la experiencia que comparten países europeos como Suecia [1], se ha observado que el aumentar la protección a los usuarios a través de la mejora de la infraestructura genera un impacto significativo en la reducción de la severidad del siniestro, no obstante que la ocurrencia misma de los accidentes puede permanecer sin grandes cambios. A través de este tipo de estudios, se hace notar la existencia de una determinada influencia de las características de una vialidad urbana o carretera en los accidentes de tránsito. Es importante hacer mención que el servicio que presta la carretera es un componente esencial donde tanto los responsables de la gestión de la vía como los profesionistas encargados del diseño, planificación, construcción y conservación están obligados a responder a la demanda social de altos niveles de seguridad vial.

Los proyectistas viales y abogados tienden a creer que aquellas carreteras construidas según las normas son seguras, no obstante que la seguridad de una carretera debe ser medida en términos de resultados o saldos de accidentes, siendo así un asunto de grado, pudiendo ser más o menos segura [2]. Lo anterior demuestra que la relación entre las normas de diseño de una carretera y la seguridad vial no es clara, por lo que el nivel de seguridad diseñado es impremeditado. A su vez, la geometría (en espacio y forma) es determinante en la seguridad vial [3], por lo que el diseño de la infraestructura representa

un factor importante en la accidentalidad, es decir, en el riesgo y el peligro del sistema. Es por eso que se establece que aquellos factores relacionados con la infraestructura son los que tienen mayor energía y mayor capacidad para hacer o causar, dado que interactúan con todos los usuarios de la vía.

Atendiendo estas recomendaciones de mejorar la infraestructura, se crearon las auditorías de seguridad vial, las cuales fueron definidas como procedimientos sistemáticos en el que un auditor independiente y calificado comprueba las condiciones de seguridad de un proyecto para una carretera nueva, una carretera existente o de cualquier proyecto que pueda afectar a la vía o a los usuarios [4]. Dentro de los beneficios de la realización de auditorías de seguridad vial se encuentran:

- Reducción de la probabilidad de ocurrencia de accidentes.
- Reducción de la severidad de las accidentes.
- Reducción del costo de medidas de mejoramiento en fase de planeación.
- Reducción del costo social y económico que representan las accidentes.

Siguiendo el enfoque de las auditorías, se han desarrollado diversas metodologías para medir la seguridad de la infraestructura, tal es el caso de los programas de evaluación carretera conocidos como RAP (*Road Assessment Programme*) los cuales están diseñados bajo la filosofía de salvar vidas mediante la inspección de vías de alto riesgo [5]; con lo anterior, se busca promover la implementación de carreteras que perdonen el error humano, y por lo tanto, minimicen las lesiones al máximo e inclusive logren evitar la ocurrencia misma del accidente.

La creación de los programas RAP ha sido el producto de más de una década de trabajo, los cuales tuvieron sus inicios en 1999, a raíz del éxito del EuroNCAP (European New Car Assessment Programme) en la medición e incremento del nivel de seguridad que brindan los automóviles a los usuarios [6]; naciendo así, EuroRAP (European Road Assessment Programme) con el mismo fin pero aplicado a la infraestructura y, posteriormente, se crearon diversas adaptaciones bajo la misma metodología, tal como AusRAP (Australia), usRAP (Estados Unidos de América), KiwiRAP (Nueva Zelanda), CanRAP (Canadá), ChinaRAP (China) y finalmente la versión internacional iRAP, siendo este último el que ha sido aplicado en carreteras mexicanas en tres ocasiones.

2. CONCEPTUALIZACIÓN DE IRAP

iRAP (International Road Assessment Programme) es una organización sin fines de lucro creada a partir de la unificación de criterios en las distintas versiones de los programas RAP, estableciendo los siguientes objetivos [7]:

- Identificar las diferencias en la consistencia del diseño entre los tramos de una carretera, lo cual tiende a generar accidentes.
- Proveer una calificación de seguridad a través de una inspección visual grabada en video, así como promover medidas de mejoramiento.
- Aplicación y énfasis en países de bajos y medianos ingresos.

La última versión de esta metodología contempla cuatro protocolos los cuales se describen a continuación:

- Mapas de riesgo. Basado en el historial de accidentalidad para la visualización de los accidentes en una red, de manera gráfica.

- Clasificación por estrellas. Provee una medida simple y objetiva del nivel de seguridad que ofrece una vía.
- Planes de inversión. Conjunto de medidas de mejoramiento enfocadas a salvar vidas y seleccionadas a través de indicadores económicos de beneficios y costos de implementación.
- Monitoreo del desempeño. Seguimiento de los mapas de riesgo y la clasificación por estrellas en un determinado periodo con el objetivo de establecer políticas en seguridad vial.

Haciendo énfasis en el segundo protocolo, la clasificación por estrellas implica una inspección visual de 60 elementos de la infraestructura vial que se sabe tienen un impacto en la siniestralidad; para obtener este indicador por estrellas, se calcula el puntaje de protección de la vía (PPV), el cual está basado en la probabilidad de ocurrencia de algunos tipos de colisión (salidas del camino en ambos lados de la vía, choques frontales por pérdida de control y por maniobras de rebase, choques en intersecciones y puntos de acceso) así como la severidad de los mismos que incrementan mayoritariamente los números de muertos y lesionados a nivel internacional.

La parte esencial del proceso radica en la codificación de los datos [8], durante el cual se catalogan todas las características físicas de la vía de acuerdo a su tipo. Dentro de estas características se encuentran:

- Separación de los sentidos de circulación.
- Sección transversal.
- Diseño geométrico de la vía.
- Intersecciones y enlaces.
- Estado del pavimento.
- Estado de las zonas laterales.
- Señalización.
- Velocidad de operación.
- Flujo vehicular.

Esta clasificación otorga entre una y cinco estrellas dependiendo del nivel de seguridad que posee la vía, al mismo tiempo que identifica cada nivel con un color específico. A su vez, la clasificación prevé una escala diferente para cada tipo de usuario; es decir, una vía puede tener cinco estrellas para el ocupante de un vehículo pero una estrella para un peatón, nivel que representa un riesgo muy alto en la infraestructura de ser atropellado. En general, se espera que para un nivel de cinco estrellas (muy segura), la carretera cuente con separación del tránsito en direcciones opuestas mediante algún tipo de mediana o faja separadora, una delineación adecuada, un diseño de intersecciones apropiado, carriles y acotamientos amplios, márgenes libres de obstáculos, entre otras; por otro lado, una carretera de una estrella (muy insegura), se esperan condiciones totalmente adversas.

En México, se realizó durante 2012 el proyecto denominado iRAP-México Fase I [9] el cual contempló la inspección de 45 mil km de la Red Carretera Federal (RCF), dicho proyecto fue liderado por la Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y sus resultados se encuentran en el tabla 1, donde se destaca que la mayoría de la longitud inspeccionada obtuvo entre una y dos estrellas (62%) para ocupantes de vehículo, lo cual indica una situación de alto riesgo en la infraestructura vial, no obstante que existe una proporción significativa con tres estrellas (32%) la cual iRAP establece como el estándar mínimo a lograr; escenarios similares se

visualizan para los motociclistas, ciclistas y peatones. Posteriormente, se realizó la Fase II del proyecto iRAP-México, donde se adiciona la inspección de 20 mil km de la red secundaria, esta vez integrando algunos tramos de carreteras estatales susceptibles a altos índices de accidentalidad. Es importante precisar que este artículo está centrado en el proyecto iRAP México en su primera fase, así como en la clasificación por estrellas para ocupantes de vehículo.

Tabla 1 - Resultados del proyecto iRAP-México Fase I (2012)

Clasificación por estrellas	Ocupantes de vehículo		Motocicletas		Ciclistas		Peatones	
	Longitud (km)	Porcentaje (%)	Longitud (km)	Porcentaje (%)	Longitud (km)	Porcentaje (%)	Longitud (km)	Porcentaje (%)
5	393.7	1	165.0	0	143.6	0	157.3	0
4	2,123.7	5	1,139.6	3	253.3	1	395.6	1
3	14,496.1	32	9,578.6	21	2,113.1	5	3,478.1	8
2	17,096.7	38	16,520.6	36	8,019.4	18	5,738.6	13
1	10,709.8	24	17,076.8	38	7,945.6	18	4,938.0	11
NA	558.5	1	897.9	2	26,903.5	59	30,670.9	68
Total	45,378.5	100	45,378.5	100	45,378.5	100	45,378.5	100

Fuente (Centeno & Urzúa, 2014)

3. IDENTIFICACIÓN DE SITIOS DE ALTA CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES

Después de varios análisis estadísticos para correlacionar el PPV y la siniestralidad, cuyos resultados quedaron plasmados en la P.T. N°438 [10]; se realizó un análisis puntual sobre cuatro sitios de conflicto los cuales reportaron altos niveles de accidentalidad. Para identificar estos sitios se realizó una jerarquización de tramos de acuerdo al catálogo del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), en función de tres indicadores de accidentalidad calculados a partir de registros de la Policía Federal [11-14] en un periodo de cuatro años (2010-2013); dentro de estos indicadores, se incluyó el índice de accidentalidad, el índice de accidentes equivalentes (EPDO, *Equivalent Property Damage Only*) y el costo de accidentes. La tabla 2 muestra la descripción de los tramos seleccionados, mientras que la tabla 3 muestra los indicadores de accidentalidad obtenidos.

Tabla 2 - Tramos con altos niveles de accidentalidad (catálogo IMT)

Tramo	Grupo	Carretera	Km inicial	Km final
1	2 carriles cuota	Las Choapas - Ocozocoautla	134.0	163.0
2	4 carriles cuota	Puebla - Córdoba	225.4	264.4
3	2 carriles libre	Ent. Playa Azul - Manzanillo	292.1	313.4
4	4 carriles libre	Querétaro - San Luis Potosí	124.7	155.7

Tabla 3 - Indicadores de accidentalidad, por tramo

Tramo	Accidentes con víctimas	Muertos	Lesionados	Acc / veh-km	EPDO / veh-km	Costo / veh-km (millones de USD)
1	61	32	134	40.2	256.6	28.4
2	120	37	220	21.9	157.4	11.0
3	66	10	99	34.1	172.3	11.6
4	110	32	163	12.8	80.3	5.5

Una vez seleccionados los segmentos, se analizó la distribución de la accidentalidad a lo largo del segmento, haciendo una comparativa con el PPV y observando coincidencias en algunos puntos de inflexión, tal como lo muestran las figuras 1, 2, 3 y 4.

De las figuras 1, 2, 3 y 4 se identificaron cuatro sitios de conflicto (véase tabla 4) donde la seguridad de la infraestructura (medida a través del PPV) pudiera estar involucrada directamente en la ocurrencia de accidentes; estos sitios coincidentemente correspondían a curvas horizontales donde se registraron la mayor cantidad de accidentes durante el periodo.

Tabla 4 - Sitios de conflicto

Sitio	Grupo	Carretera	Clas. SCT	Km inicial	Km final	Radio de curvatura (m)
1	2 carriles (cuota)	Las Choapas - Ocozocoautla	ET	158.0	160.0	380.0
2	4 carriles (cuota)	Puebla - Córdoba	ET	226.0	228.0	200.0
3	2 carriles (libre)	Ent. Playa Azul - Manzanillo	C	303.0	305.0	130.0
4	4 carriles (libre)	Querétaro - San Luis Potosí	ET	150.0	153.0	350.0

1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales
 "Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas"

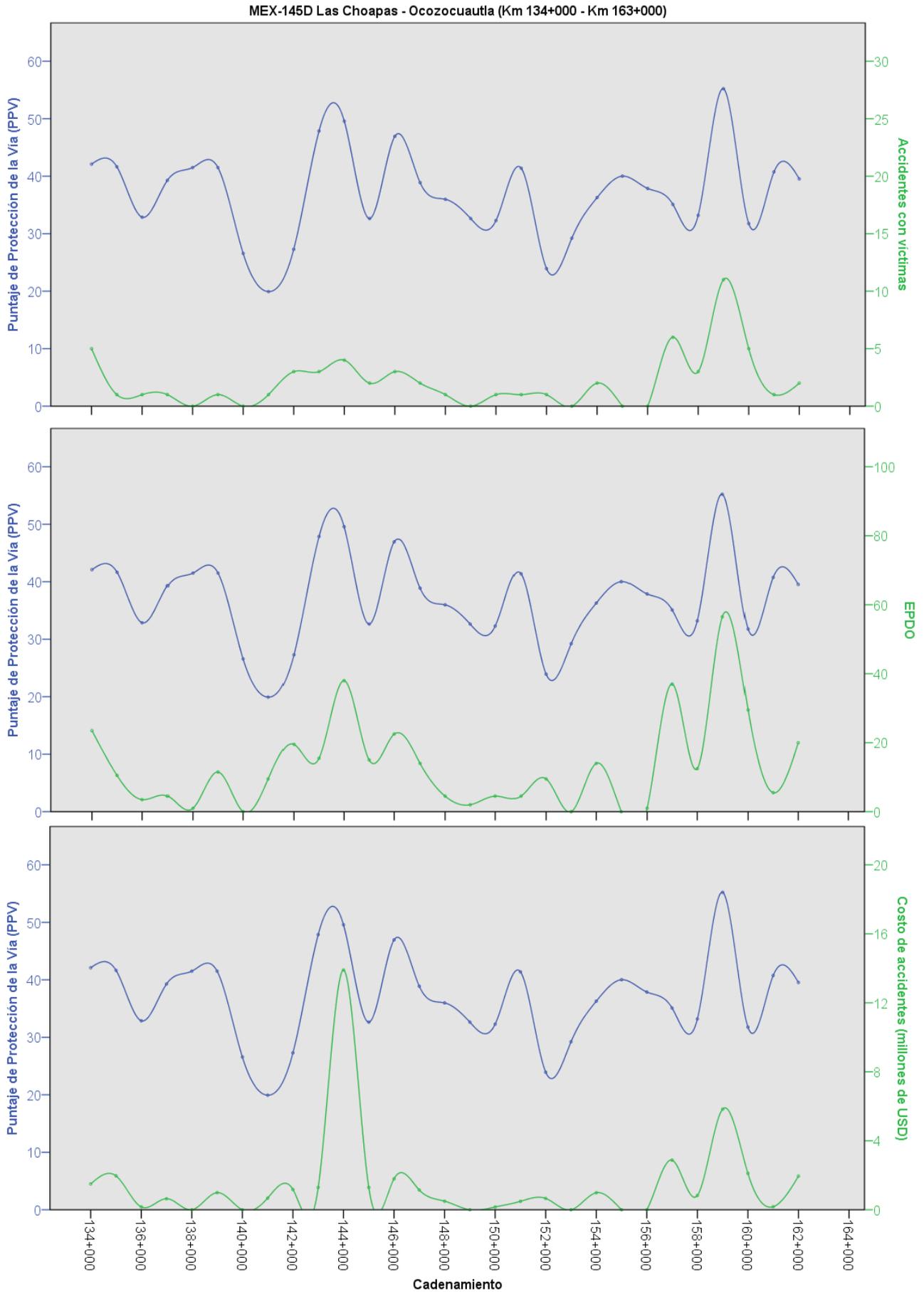


Figura 1 - Distribución del PPV y accidentalidad del tramo uno, por km

1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales
 "Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas"

MEX-150D Puebla - Córdoba (Km 225+400 - Km 264+400)

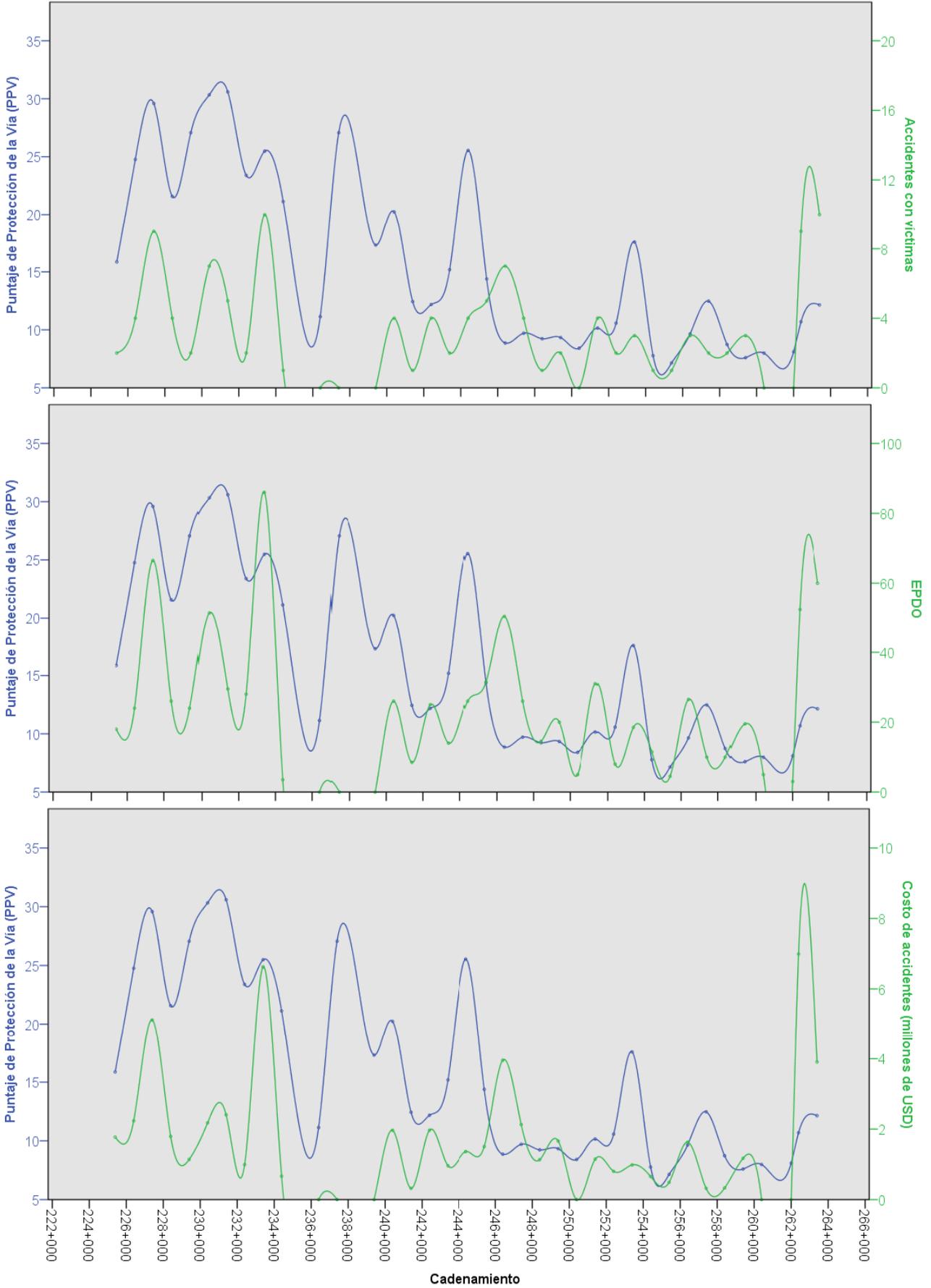


Figura 2 - Distribución del PPV y accidentalidad del tramo dos, por km

1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales
 "Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas"

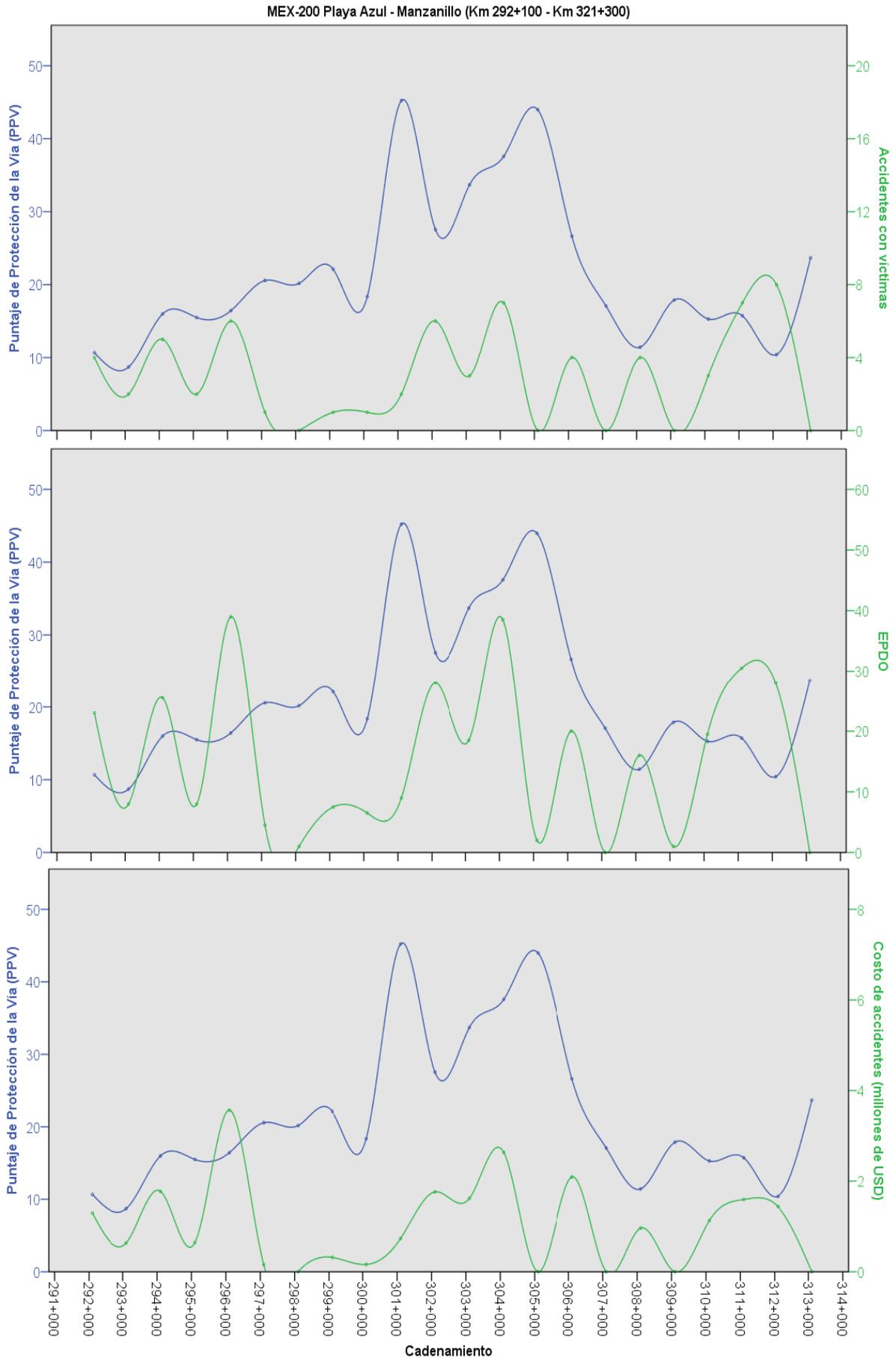


Figura 3 - Distribución del PPV y accidentalidad del tramo tres, por km

1er Seminario de Investigación de Accidentes Viales
 "Investigación de Accidentes para Definir Medidas de Solución Efectivas"

MEX-057 Querétaro - San Luis Potosí (Km 124+700 - Km 155+700)

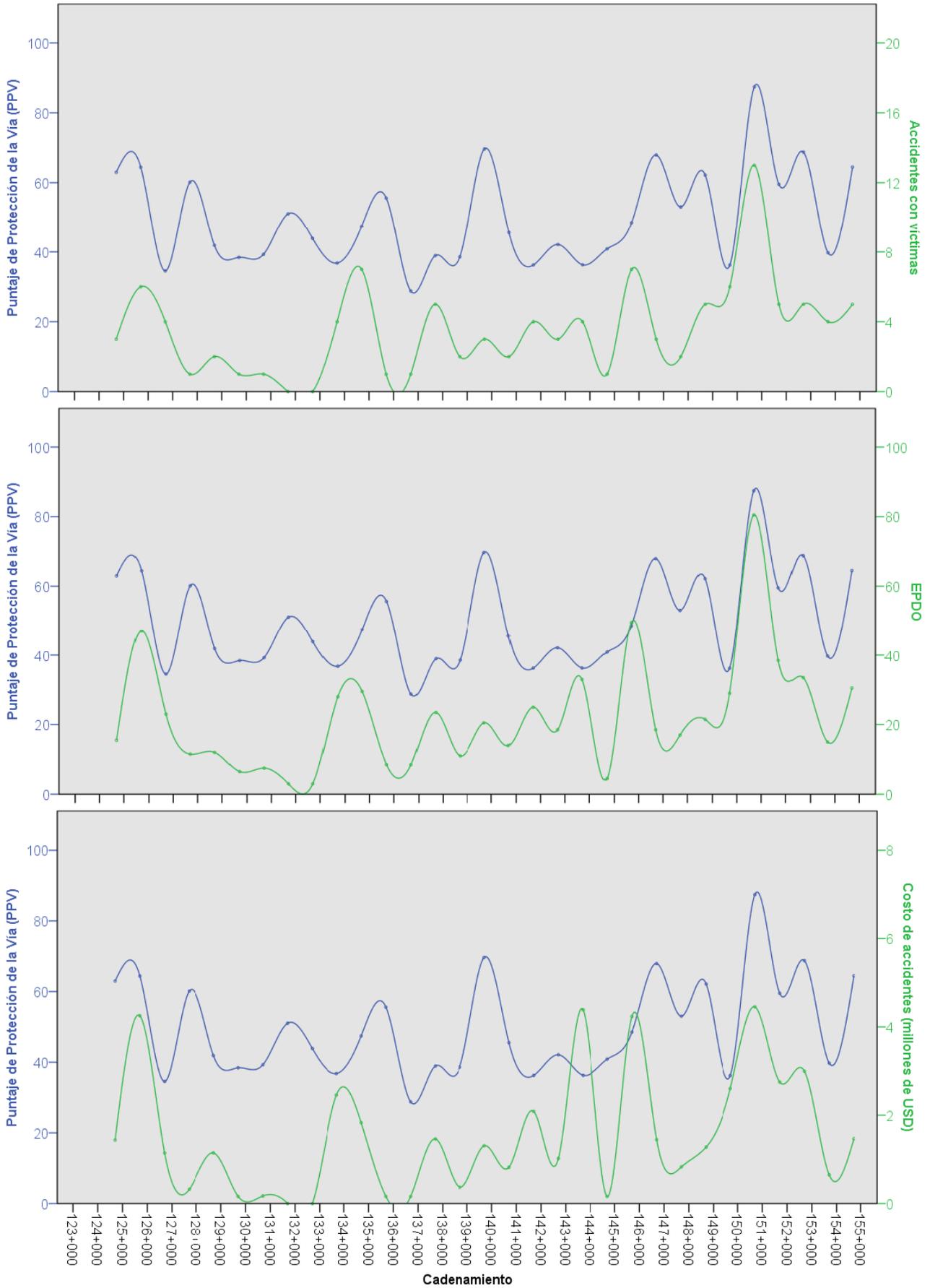


Figura 4 - Distribución del PPV y accidentalidad del tramo cuatro, por km

4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA IRAP

En función del radio de curvatura se estimó la velocidad de proyecto para la cual fueron diseñadas las curvas con el objetivo de compararla con la velocidad de operación tanto reportado por iRAP, como por la SCT en sus publicaciones anuales de Datos Viales, así como el límite de velocidad establecido en el señalamiento, tal como lo muestra la tabla 5. De aquí se destaca que tanto la iRAP como la SCT registraron velocidades de operación (percentil 85) superiores a las velocidades de diseño de las curvas, así como mayores en gran medida a los límites de velocidad establecidos lo cual muestra indicios de que los radios de curvatura son muy pequeños para las velocidades de los vehículos que transitan por estos sitios.

Tabla 5 - Velocidades en los sitios de conflicto

Sitio	Velocidad de proyecto (km/h)	Velocidad de operación (km/h)				Límite de Velocidad (km/h)	% de la velocidad excedida
		SCT		iRAP			
		Prom.	P85	Prom.	P85		
1	100.0	100.9	117.5	100.0	110.0	60.0	83 – 96
2	80.0	94.7	108.0	75.0	95.0	60.0	58 – 80
3	60.0	63.8	73.0	70.0	85.0	50.0	46 – 70
4	100.0	97.7	115.6	80.0	140.0	60.0	93 – 133

La tabla 6 muestra los saldos de accidentes para los diferentes sitios; de aquí se observa que en los sitios tres y cuatro, el evento predominante es la salida del camino lo cual puede estar relacionado directamente con la velocidad de operación, mientras que en el sitio uno prevalecen los impactos laterales y las volcaduras lo que está relacionado con la dificultad del conductor para negociar con la curva y mantener la velocidad de operación; por último el sitio dos registró un mayor número de colisiones por alcance lo cual puede estar relacionado con una restricción por el alineamiento horizontal (curva). A su vez, se muestra el número de muertos y lesionados por causa de los accidentes de tránsito, así como la distribución de los participantes en cuanto a vehículos ligeros y pesados.

Tabla 6 - Saldo de accidentes en los sitios de conflicto

Sitio	Accidentes con víctimas								M	L	Participantes		
	A	B	C	D	E	F	G	Total			VL	VP	NI
1	1	3	2	2	4	1	1	14	4	27	10	11	1
2	3	0	5	1	1	3	0	13	4	31	22	29	1
3	6	0	1	1	0	0	1	9	3	13	10	4	0
4	14	2	2	1	1	4	1	25	5	32	20	15	1

Notas:

- A - Salida del camino
- B - Volcadura
- C - Choque por alcance
- D - Choque frontal
- E - Choque lateral
- F - Choque contra objeto fijo
- G - Otros
- M - Muertos
- L - Lesionados
- VL - Vehículos ligeros
- VP - Vehículos pesados
- NI - No identificados

Una vez descritas las características de cada uno de los sitios, las siguientes figuras muestran su ubicación y resaltan a manera de resumen todos los aspectos importantes que están influyendo en la ocurrencia de accidentes, los cuales se encuentran medidos a través del PPV o los registros de la Policía Federal y la SCT. De igual manera se hace una breve descripción sobre los atributos que fueron codificados por iRAP los cuales generaron un impacto significativo en el incremento del PPV y, por tanto, la clasificación por estrellas obtenida.

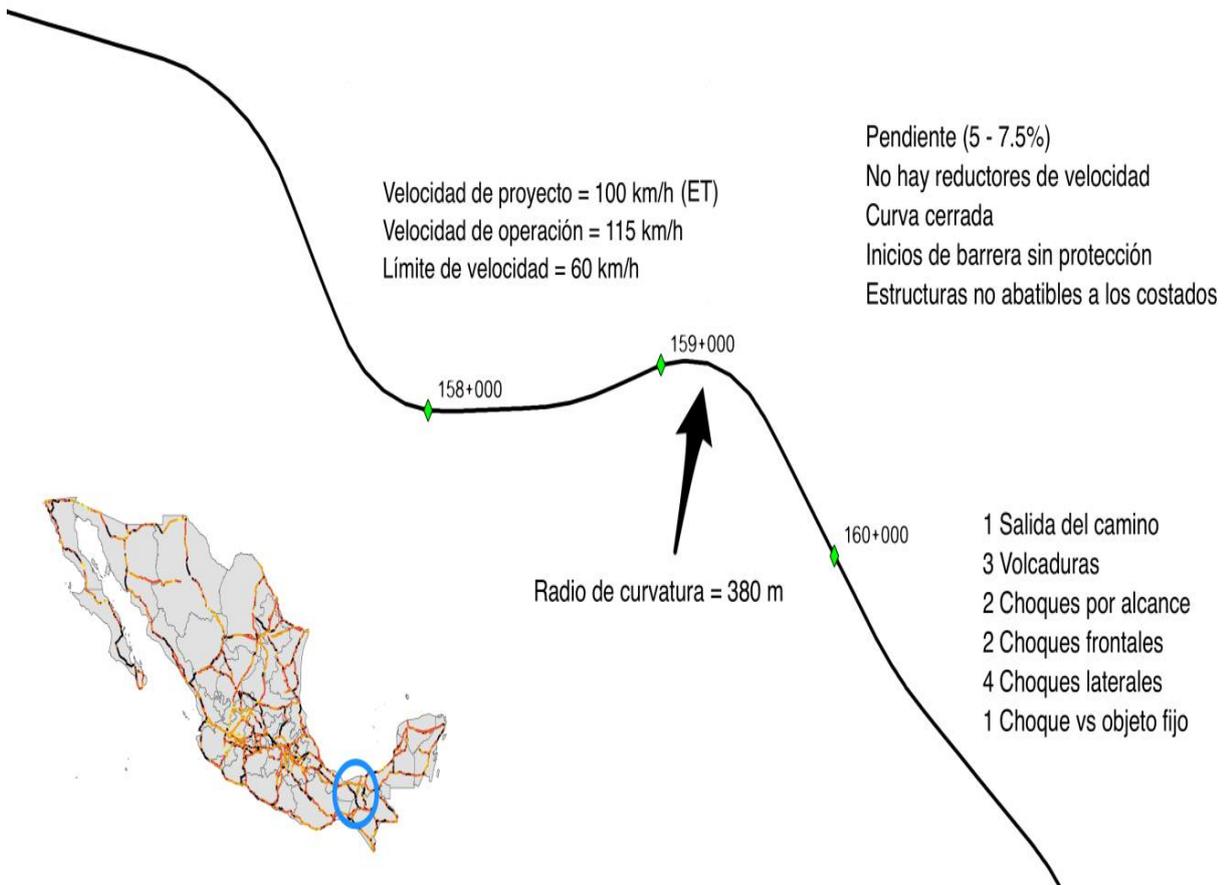


Figura 5 - Ubicación geográfica y descripción del sitio uno

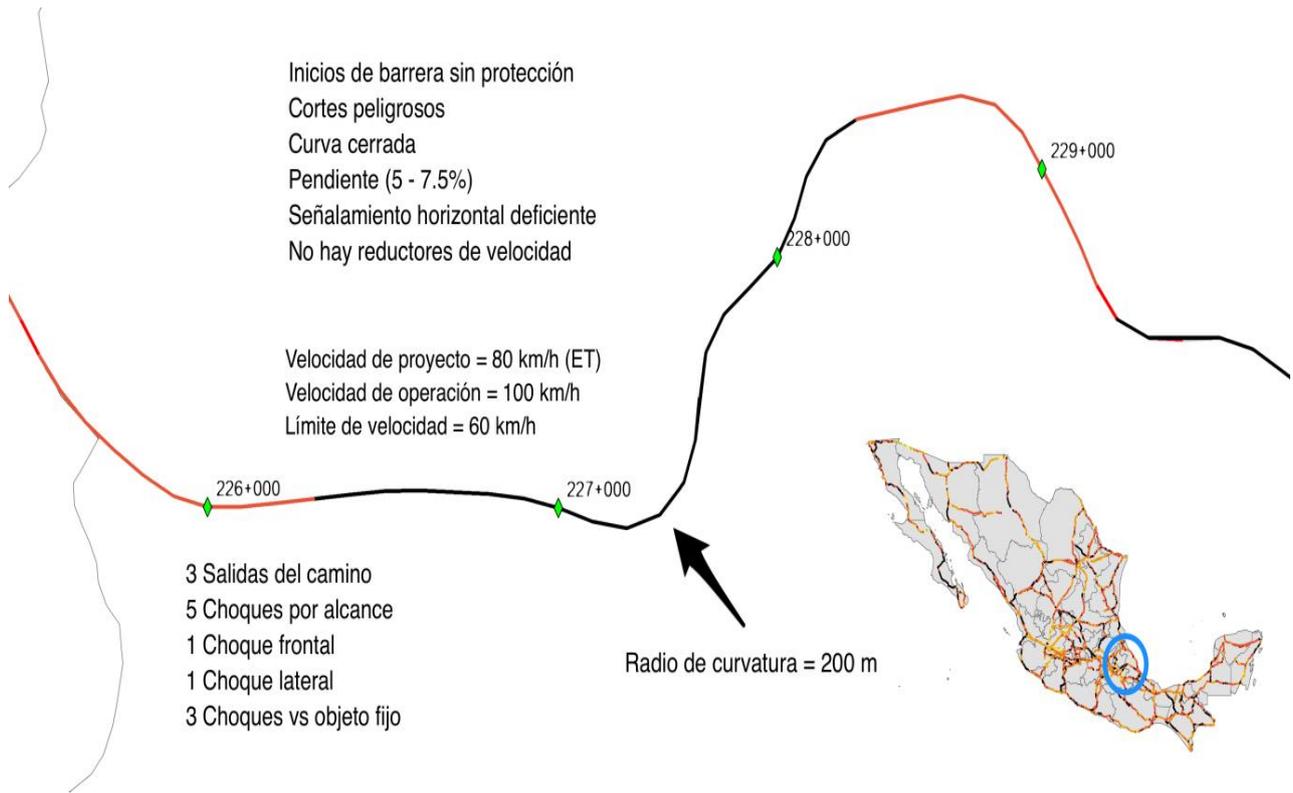


Figura 6 - Ubicación geográfica y descripción del sitio dos

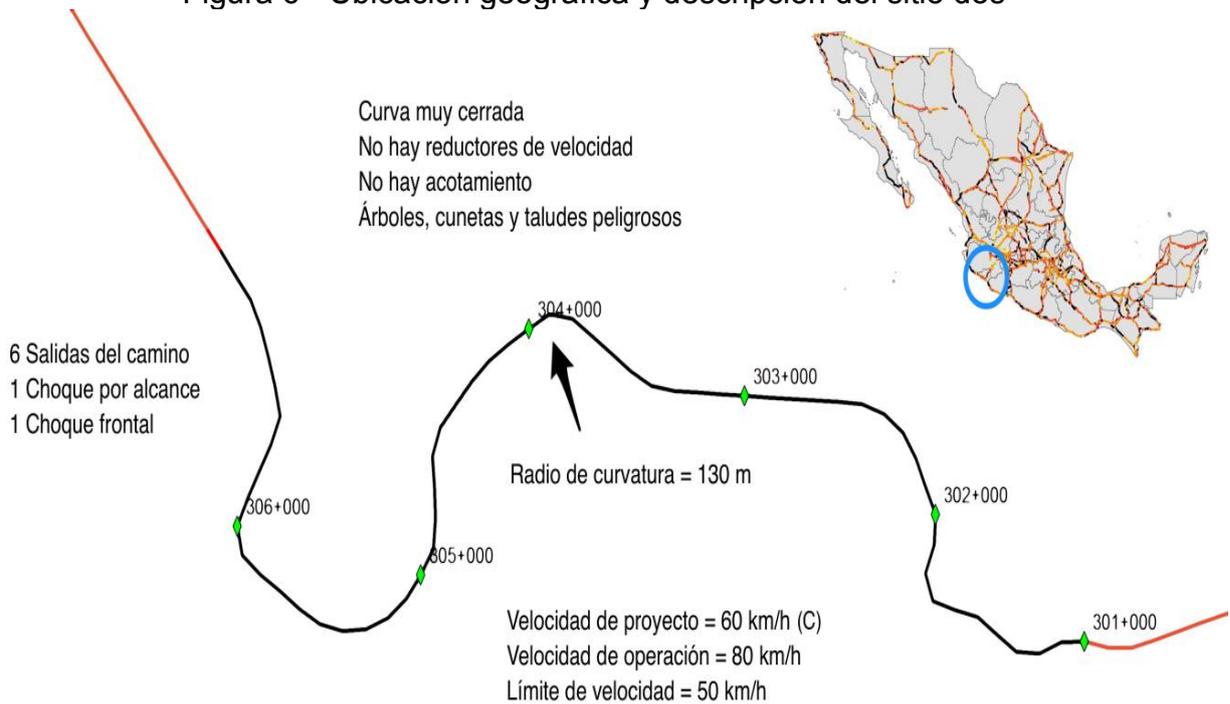


Figura 7 - Ubicación geográfica y descripción del sitio tres

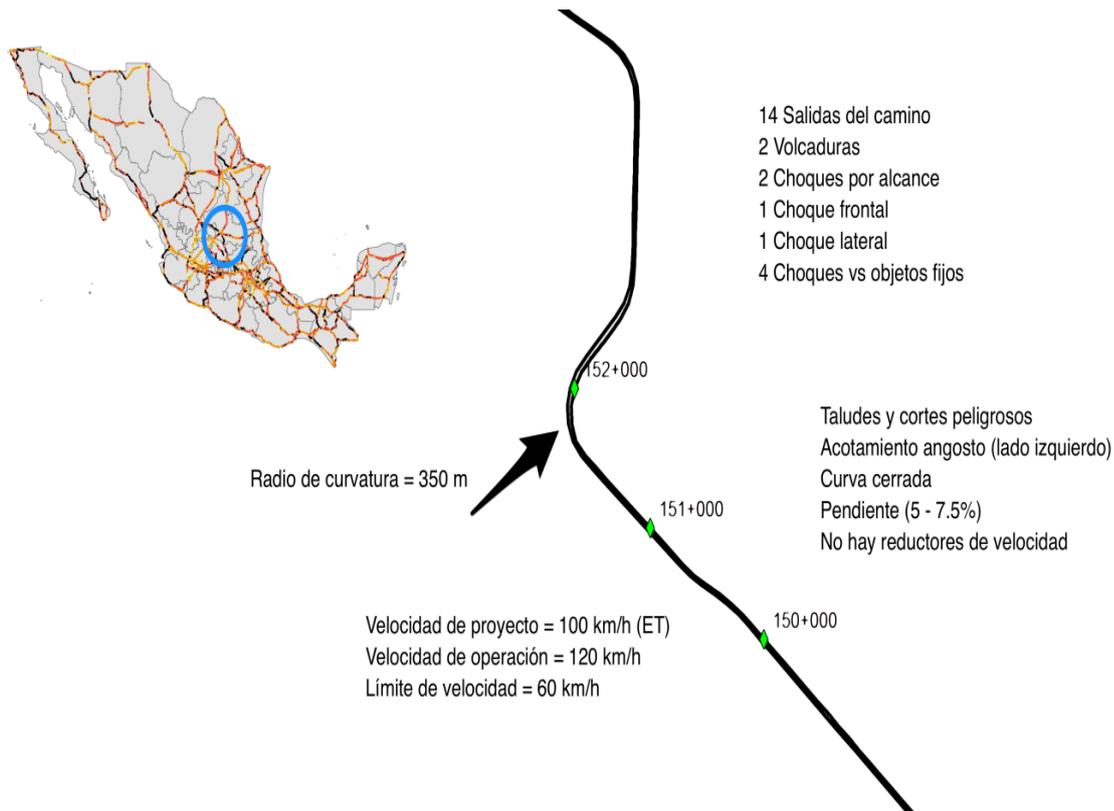


Figura 8 - Ubicación geográfica y descripción del sitio cuatro

A raíz de este último ejercicio se observó que la velocidad de operación codificada por iRAP fue un factor que determinó un PPV alto, especialmente cuando la infraestructura no cuenta con reductores de velocidad. A su vez, se notó la presencia de objetos fijos peligrosos en los costados de la vía, situación que incrementa la severidad de los accidentes, especialmente en salidas del camino, volcaduras y choques contra objetos fijos. Por último, se detectaron problemas de visibilidad en las curvas lo cual puede desencadenar choques por alcance, además de que el conductor, al no tener el panorama completo de la curva, podría cometer un error de subviraje.

5. CONCLUSIONES

No necesariamente todas las colisiones de tránsito son ocasionadas por deficiencias en la infraestructura; sin embargo, existe evidencia de que algunas características de la vía están ligadas a estos eventos y representan factores de riesgo, no solo en la ocurrencia sino en la severidad de los siniestros.

La metodología de iRAP a través del PPV permite identificar puntualmente condiciones de la infraestructura que potencialicen el riesgo de colisión, no solo para los ocupantes de automotores, como en este ejemplo, sino también para otros usuarios de la vía. Sin embargo, los autores no recomiendan basarse exclusivamente en el PPV para la identificación de sitios de alta siniestralidad, reiterando la importancia de vincular este indicador con las estadísticas de siniestralidad.

RECONOCIMIENTOS

Esta investigación fue financiada con fondos de la Red Temática de Accidentes Viales (Número 253411), como parte del programa de Redes Temáticas 2015 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT).

REFERENCIAS

1. Breen, J., Howard, E., & Bliss, T. (2008). An independent review of road safety in Sweden. Publicación 2008:109, Swedish Road Administration, Estocolmo, Suecia.
2. Hauer, E. (2001). La seguridad vial de las normas del trazado. Revista RUTAS No. 83, Asociación Técnica de Carreteras, Madrid, España.
3. Xumini, L. (2009). La seguridad vial y las infraestructuras. Revista RUTAS No. 130, Asociación Técnica de Carreteras, Madrid, España.
4. Díaz-Pineda, J. (2008). Auditorías de Seguridad Vial, Experiencia en Europa. I CISEV, Instituto Ibero-Americano de Seguridad Vial, San José, Costa Rica.
5. Lynam, D. (2012). Development of Risk Models for the Road Assessment Programme. iRAP y Transport Research Laboratory (TRL), Londres, Reino Unido.
6. European Road Assessment Programme. (2011). Crash Rate - Star Rating Comparisons. iRAP/EuroRAP Working Paper 504.2, Hampshire, Reino Unido.
7. International Road Assessment Programme. (2014). Methodology. iRAP Fact Sheets 1-14, Hampshire, Reino Unido.
8. International Road Assessment Programme. (2014). Manual de Codificación para la Clasificación por Estrellas de iRAP. RAP-SR-2.2, iRAP, Londres, Reino Unido.
9. Centeno, A., & Urzúa, J. (2014). Resultados iRAP-México 2012. IV Congreso Ibero-Americano de Seguridad Vial, Cancún, México.
10. Pérez, G., Cuevas, C., Abarca, E. & Mendoza, A. (2015). Comparación estadística entre la clasificación por estrellas y los mapas de riesgo de accidentalidad en carreteras federales
11. Cuevas, C., Gómez, N., Villegas, N., Mayoral, E., & Mendoza, A. (2013). Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales (2010). Documento Técnico No. 51, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México.
12. Cuevas, C., Gómez, N., Villegas, N., Mayoral, E., & Mendoza, A. (2013). Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales (2011). Documento Técnico No. 56, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México.
13. Cuevas, C., Villegas, N., Mayoral, E., & Mendoza, A. (2014). Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales (2012). Documento Técnico No. 57, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México.
14. Cuevas, C., Pérez, G., Mayoral, E., & Mendoza, A. (2015). Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales (2013). Documento Técnico No. 61, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México.

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO EN UN SITIO DE ALTO RIESGO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-QUERÉTARO

N. RODRIGUEZ

Instituto de Ingeniería y Tecnología; Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

nubiaa.rdz@gmail.com

J. CHAVARRÍA & E. ABARCA

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

jchavarria@imt.mx eabarca@imt.mx

RESUMEN

La ocurrencia de accidentes en las carreteras de México, como lo es en muchas partes del mundo, alcanza magnitudes que hacen de este problema un problema grave tanto de seguridad en el transporte como de salud pública, dados el elevado número de muertos, lesionados y discapacitados permanentes. Cabe destacar que dentro de esta problemática, la mayor parte de las víctimas mortales en accidentes ocurren en países de ingresos bajos y medianos, y dentro de este contexto, México se encuentra dentro de los 10 principales países con víctimas mortales por accidentes de tránsito, ocupando el sexto lugar a nivel mundial.

Con relación al Estado de Querétaro, los datos oficiales revelan que en la Red Carretera Federal que comprende este Estado Mexicano, durante el año 2012 hubo 555 accidentes con 71 víctimas mortales, mientras que en el año 2013, hubo 459 accidentes y 38 víctimas mortales; es decir, durante 2013 disminuyeron los accidentes un 17.3 % y las muertes en 46.4%, siendo la autopista México-Querétaro la vía más importante de este Estado y también la carretera que presenta los índices de accidentalidad más altos.

En este sentido y con el fin de ayudar a mantener esa tendencia a la baja en los saldos de accidentes de este Estado, se elabora un estudio de ingeniería de tránsito, enfocado al mejoramiento de la seguridad vial de acuerdo con la metodología actual para el tratamiento de puntos negros, en el tramo que va del kilómetro 160 + 000 al 162 + 500, dado que este es un sitio que presenta una concentración de accidentes anormalmente elevada. Así, dentro del estudio inicialmente se hace un diagnóstico de la situación actual, con el propósito de conocer y determinar las principales causas de los accidentes que ocurren en este sitio, y se proponen las medidas de mejora de acuerdo con las recomendaciones existentes para el desarrollo de auditorías de seguridad vial y el tratamiento de puntos negros o sitios con concentraciones de accidentes anormalmente elevadas.

1. INTRODUCCIÓN

La seguridad vial es un tema de vital importancia para un país ya que consiste en la prevención de accidentes de tránsito o la minimización de sus efectos especialmente para la vida y salud de las personas; la falta de seguridad vial resulta ser un problema que requiere gran atención de parte de todos los usuarios que transitan por las carreteras y vialidades pero mayormente prioritario para los gobiernos de diversas naciones por

razones humanitarias, económicas y de salud pública (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2012).

En México se presentan un alto número de accidentes automovilísticos, tan solo en el año 2013 hubieron 22,002 accidentes, que arrojaron un saldo de 24,033 víctimas. La SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes) clasifica el sistemas carretero federal en 154 rutas de las cuales las de mayor longitud y que constituyen los principales ejes de transporte, concentran el mayor número de colisiones (Cuevas, y otros, 2013), tal es el caso de la carretera MEX-057, dado esto se decide realizar un estudio de ingeniería de tránsito en un tramo que representa un punto de alta incidencia de accidentes de la carretera México-Querétaro MEX-057. El sitio de estudio se ubica en el Estado de Querétaro, en el km 160+000 al 162+500 de la autopista México-Querétaro, en la población de San Juan del Río. En el sentido hacia Querétaro es un tramo en tangente, con pendiente descendente bastante pronunciada, pavimento de concreto hidráulico, con tres carriles de circulación, un carril de incorporación de los vehículos que salen de San Juan del Río y al final del tramo se encuentran tres curvas sucesivas.

Para el análisis se toman en cuenta las publicaciones del Instituto Mexicano del Transporte (IMT) acerca de Seguridad vial con base a la realización de auditorías viales y puntos de alta incidencia de accidentes (puntos negros), lo que ayuda a tomar las referencias o metodologías establecidas para poder resolver la problemática; también es indispensable la utilización de bases de datos de accidentes de la policía federal y de aforos hechos con anterioridad durante al menos cinco años de antigüedad así como también la tasa de mortalidad por accidentes proporcionada por estadísticas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Parte fundamental consiste en la realización de un recorrido en el sitio tomando en cuenta el levantamiento geométrico, las velocidades, grabación del sitio por medio de cámaras para la utilización de un software especializado y aforos vehiculares así como aforos de mortalidad, se puede establecer la causa de los accidentes en ese tramo y se procede a realizar la proposición de medidas de reducción de siniestros en el sitio.

2. ANTECEDENTES

La mayor parte de las víctimas mortales por accidentes de tránsito ocurren en países de ingresos bajos y medianos, y bajo este contexto, México se encuentra dentro de los 10 principales países con víctimas mortales por accidentes vehiculares ocupando el sexto lugar (OMS, 2013); en términos de costo, los accidentes generan pérdidas para el país de alrededor de 150 mil millones de pesos, esto representa el 1.7% del Producto Interno Bruto (STCONAPRA, 2013).

Según Mendoza & Mayoral, en México se tiene la percepción de que una gran cantidad de los accidentes y sus muertos y heridos, se deben a la laxitud con que se aplican las regulaciones vigentes (límites de velocidad, peso y dimensiones máximos de vehículos pesados, drogas y alcohol, horas de conducción, condiciones físico-mecánicas de los vehículos, etc.); por ejemplo, el uso del cinturón de seguridad para los ocupantes del vehículo es obligatorio en casi todas las jurisdicciones, sin embargo, su tasa de aplicación es relativamente baja (de menos de 25%). (Mendoza & Mayoral, 2011)

Los accidentes viales pueden ser evitados en gran medida una vez que se concientiza a los conductores de manejar adecuadamente y con precaución para que a su vez puedan

utilizar las vialidades de la manera correcta, además de tener estándares de diseño superiores, fabricación y mantenimiento vehicular, y construcción y mantenimiento carretero; a diferencia de otras causas de mortandad importantes como son los fallecimientos por cáncer o por enfermedades del corazón, que realmente no son tan evitables como las pérdidas en accidentes viales (Mendoza & Mayoral, 2011). Cabe recalcar que la conducta del usuario de las vialidades en muchas ocasiones puede ser la que evitaría los accidentes viales o en todo caso podría disminuir notablemente las estadísticas de muertes y lesiones.

En términos del mejoramiento de la infraestructura (mejores carreteras), las auditorías de seguridad vial y el tratamiento de sitios de alta concentración de accidentes son dos herramientas altamente utilizadas. En este estudio se utilizan ambas, de tal modo que el estudio pueda ser más completo.

Una Auditoría de Seguridad Vial (ASV) es un examen formal de un proyecto vial, o de tránsito, existente o futuro, o de cualquier proyecto que tenga influencia sobre una vía, en donde un equipo de profesionales calificado e independiente informa sobre el riesgo de ocurrencia de accidentes y del comportamiento del proyecto desde la perspectiva de la seguridad vial. Uno de los objetivos que persiguen las auditorías de seguridad vial es evitar el próximo accidente (Mendoza & Mayoral, 2011).

Las auditorías en seguridad vial esta divididas por etapas, y en este caso, únicamente se lleva a cabo la etapa 4, inspección, dado que el estudio se realiza en un sitio de una carretera en operación. Como lo señalan las prácticas sobre la materia, primeramente se hace un diagnóstico del sitio, a partir de la localización de los accidentes con víctimas (lesionados y fallecidos) registrados en el sitio (análisis de datos), para a partir de ahí identificar la problemática apoyados en observaciones directas mediante visitas al sitio, y proponer las medidas correctivas pertinentes (Mendoza & Mayoral, 2011).

Por su parte, el tratamiento de sitios de alta concentración de accidentes o “puntos negros” tiene como objetivos: identificar esos sitios de alto riesgo, con una oportunidad económicamente justificable de reducir el riesgo, e identificar opciones de mejoramiento y prioridades que maximicen los beneficios económicos.

3. DESCRIPCIÓN DEL SITIO

En las siguientes tablas se presenta la información que describe el sitio de alto riesgo de la autopista México Querétaro, en el cual se lleva a cabo el presente estudio.

Tabla 1. Localización

Descripción de la autopista México-Querétaro	
Localización	Tramo de la autopista México-Querétaro del kilómetro 160 + 000 al kilómetro 162 + 500
Límite de Velocidad	110 kph
Tipo de vía	Autopista
Tipo de pavimento	Flexible

Tabla 2. Geometría

Geometría del Sitio	
Longitud del tramo	2.5 kilómetros
Ancho de calzada	16.4 m por sentido
Número de Carriles	3 por sentido
Ancho de acotamiento interior	1 m
Ancho de acotamiento exterior	4 m
Distancia de visibilidad	175 m
Longitud de frenado	13.5 m

4. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Para poder obtener las características geométricas e imagen del sitio, se hace uso del Hawkeye, que consiste en un vehículo equipado con cámaras de video y GPS además de un software Hawkeye Processing Toolkit, herramienta de procesamiento de datos de caminos (ARRB Group, 2011).

Las cámaras de video capturan una serie de imágenes por segundo obteniendo una imagen en la cámara izquierda, central, derecha y trasera, como la que se aprecia en la Figura 1. El software tiene herramientas que permiten realizar medidas horizontales, verticales y diagonales en metros sobre la imagen de cada una de las perspectivas tomadas por las cámaras.

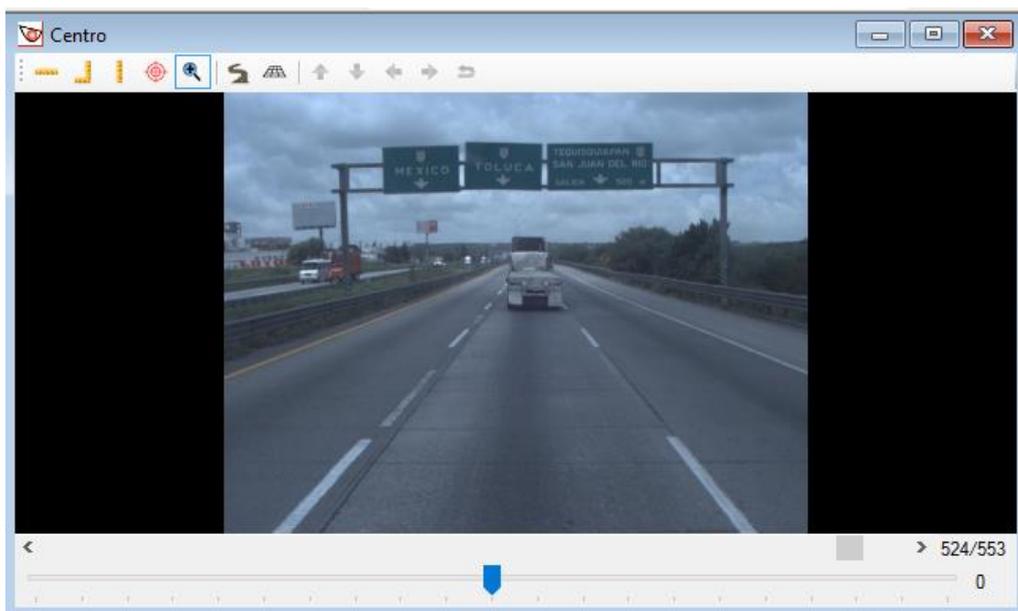


Figura 1. Imagen Captada Mediante el Hawkeye

Así mismo, el Hawkeye realiza también un levantamiento topográfico de puntos ubicándolos geográficamente con una latitud, longitud y altitud, a partir del levantamiento topográfico y la obtención de videos, con la información obtenida por medio de la imagen en video y fotografías fue posible elaborar el alineamiento en planta del sitio de estudio (160 + 000 a la 162 + 500 de la autopista México-Querétaro), que se aprecia en la Figura 2. El sitio tiene seis curvas, tres en el sentido Querétaro-México, ascendente, (C1-2; C2-3 y C3-4) y tres en el sentido México- Querétaro, descendente (C5-8; C6-7 y C7-8). De estas curvas, la curva C6-7 se encuentra al final de la pendiente descendente del tramo, cercana al 5% y una longitud en descenso de varios kilómetros), justo después de un carril de incorporación de vehículos que ingresan a la autopista desde el poblado de San Juan del Río ya casi al final de la pendiente, situaciones que hacen de esta curva la curva de mayor riesgo en el tramo.

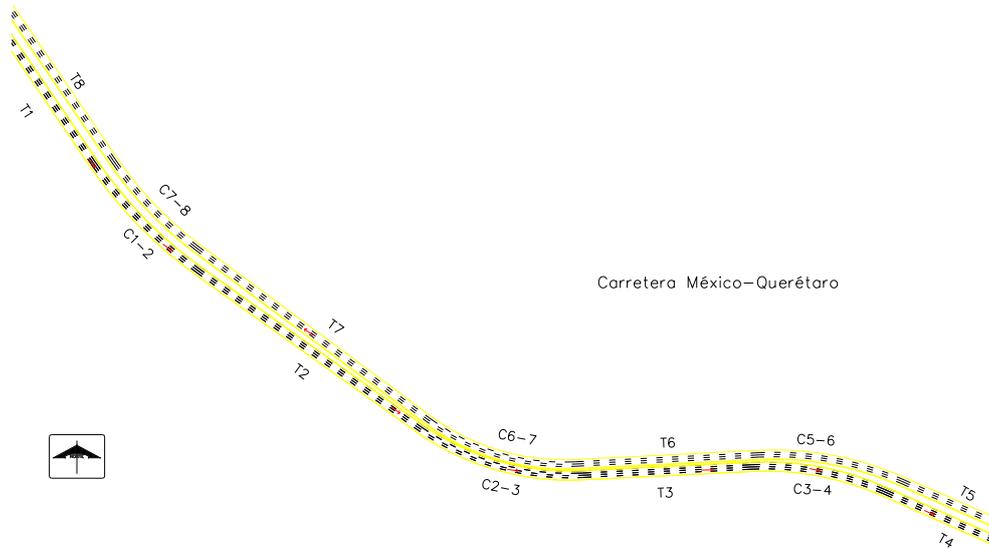


Figura 2. Alineamiento en Planta del Sitio de Estudio

El alineamiento de una carretera produce un gran impacto en el ambiente que lo rodea, las comunidades y el usuario de la misma. El alineamiento está compuesto de una variedad de elementos que juntos crean una carretera más segura y eficiente consistente con la función que debería tener. Cada elemento debe complementarse para obtener un diseño seguro, consistente y eficiente (AASHTO, 2001). Al revisar el diseño geométrico se pueden obtener características importantes de la carretera que permitirán conocer si está diseñada correctamente de acuerdo a los criterios de diseño establecidos para ese tipo de carretera.

Bajo este contexto, al obtener los puntos topográficos con ayuda del Hawkeye, y el alineamiento en planta de la figura anterior, se obtuvieron los siguientes valores del radio de las curvas circulares existentes en el tramo, que se aprecian en la Tabla 3.

Tabla 3. Radios de Curva

Curva	Radio de la curva circular
C1-2	734.73
C2-3	435.09
C3-4	488.02
C5-6	523.95
C6-7	387.018
C7-8	634.842

Nuevamente destaca que la curva C6-7, descrita anteriormente como la de mayor riesgo por sus características de operación, justamente es la curva que tiene el menor radio.

Con los radios de curva obtenidos, y conforme a las normas técnicas para el diseño geométrico de carreteras de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes se obtuvieron las propiedades geométricas de cada una de las curvas existentes en el tramo, como lo es el grado de curvatura (G_c); ampliación de la calzada en curva (A_c), la sobreelevación (S_c), la longitud de transición (L_e), que se aprecian en la Tabla 4.

Tabla 4. Propiedades Geométricas de las Curvas Existentes

Curva	R_c	G_c	A_c	S_c	L_e
			A4S		A4S
C1-2	734.732	1.56	44	7.6	66.584
C2-3	435.088	2.63	60	9.9	87.117
C3-4	488.02	2.35	60	9.6	84.253
C5-6	523.95	2.19	58	9.3	81.849
C6-7	387.018	2.96	60	9.9	78.709
C7-8	634.842	1.81	50	8.4	73.284

A partir de los datos anteriores destaca que a las curvas C1-2, C2-3, C3-4, C5-6 y C7-8 les corresponde una velocidad de diseño o proyecto de 110 kph, mientras que a la curva C6-7, por sus características geométricas más restringidas, le corresponde una velocidad de diseño de 80 kph.

Por lo que hace a las velocidades de operación, cabe destacar que en el estudio se tomaron velocidades en las seis curvas del tramo, tanto la tangente precia a la entrada de cada curva, como dentro de la curva y en la salida de cada una de ellas.

Destaca que en las seis curvas, el percentil 85 de las velocidades medidas tanto en tangente de entrada a la curva, en la curva y en la tangente de salida de la curva, está por arriba de 110 kph, siendo la más altas, la velocidad de operación (85 percentil) de la tangente de entrada a la curva C1-2 y la tangente de salida de la curva C7-8 con 128 kph. Por lo que hace a la curva C6-7, con velocidad de diseño de 80 kph, se registraron las velocidades que se aprecian en la Figura 3, siendo las máximas de 166 kph para un auto en la tangente de entrada a la curva, 136 dentro de la curva y 150 en la tangente de

salida, siendo (166 kph, 121 kph y 128 kph las velocidades de operación (85 percentil) respectivamente. Muy por arriba de la velocidad de diseño de esa curva (80 kph). Otra problemática detectada es el diferencial tan amplio entre las velocidades máximas y mínimas registradas en esa curva, debido principalmente a los vehículos que se incorporan a la autopista en ese sitio.

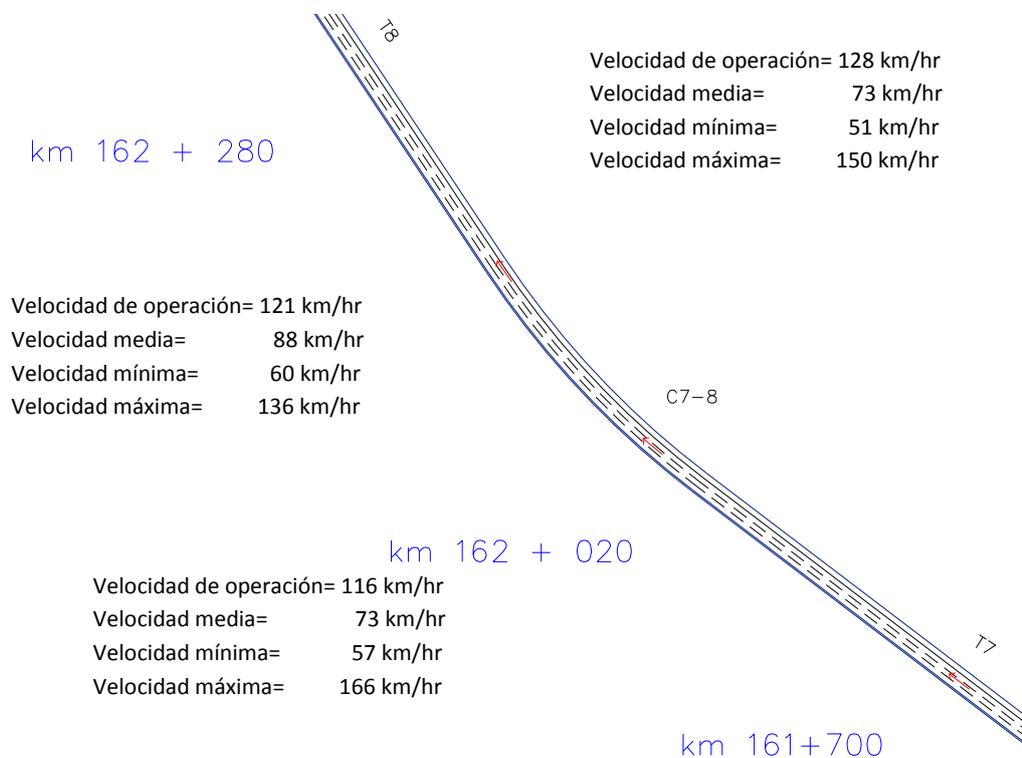


Figura 3. Medición de Velocidades en la Curva C6-7

5. DIAGNÓSTICO

Con los datos anteriores se puede observar que al radio de la curva (R_c) de la curva C6-7 en el sentido México-Querétaro le corresponde a un radio para una velocidad de proyecto de 80 kph, y las velocidades de operación registradas en ella se encuentran muy por arriba de esta cifra; adicionalmente destaca el hecho que es una curva que se encuentra entre dos curvas cercanas que están diseñadas para 100 kilómetros por hora (no hay homogeneidad en el tramo); por lo que se desprende que esta situación, puede ser el principal factor desencadenante de accidentes en el tramo, toda vez que la salida de esta curva se encuentra muy cercana al kilómetro 161+500, punto específico del tramo que según datos de la policía federal, es donde se concentra el mayor número de accidentes. Adicionalmente a situaciones como la ya descrita, existe el tema de la incorporación de vehículos a la autopista en ese sitio, que propicia la convivencia de vehículos circulando a gran velocidad con vehículos más lentos que se incorporan.

Como ya se dijo, en términos generales, se observó que la velocidad de operación (85 percentil de las velocidades medidas) en todos los sitios medidos del tramo, sobrepasa la velocidad máxima del tramo de 110 kph.

En cuanto a la consistencia de las velocidades, se tiene que cuando las variaciones de velocidad son mayores de 20 kilómetros por hora, las prácticas internacionales señalan

deficiencias en el trazo y recomiendan que se corrija; entre 10 y 20 kph el trazo es regular y un buen trazo no debiera presentar variaciones a 10 kph.

Dentro de la problemática también se detectó que en todo el tramo de estudio, únicamente hay un señalamiento de velocidad máxima, este en el sentido Querétaro-México, cuerpo contrario a la ubicación de la curva C6-7 y no existen señales que informe o sirvan de recordatorio de velocidad máxima del tramo.

En cuanto al señalamiento, también se encontró que existen varias señales en el tramo, cuya ubicación lateral excede la distancia máxima recomendada (Figura 4); tal es el caso de la señal de prohibido el estacionamiento que se precia en Figura 5, la cual se encuentra en el sentido México-Querétaro, km 162 + 380 la cual se encuentra a más de 10 metros del borde de la calzada.

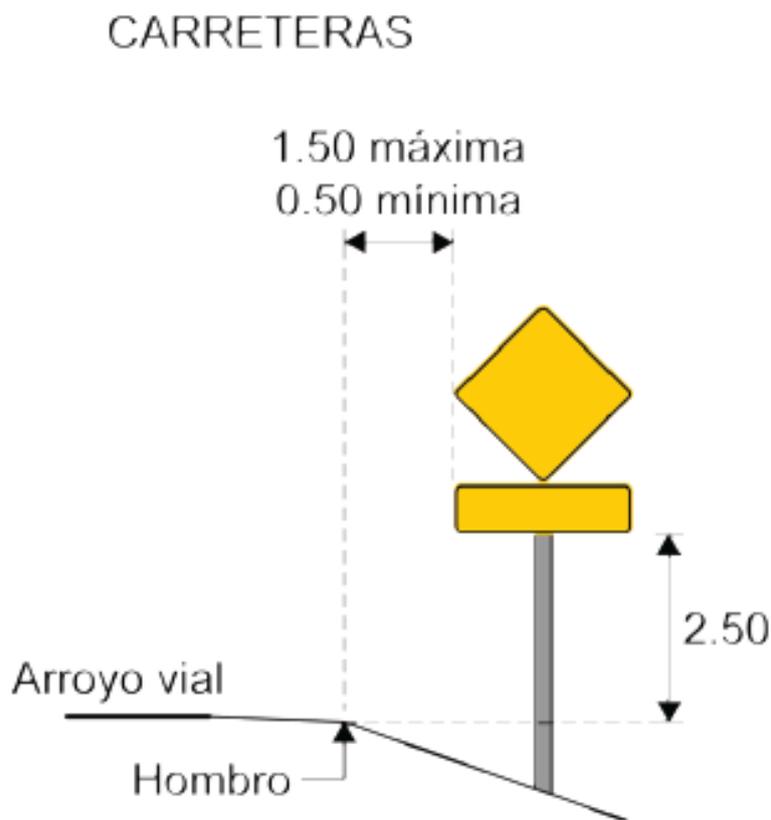


Figura 5. Recomendaciones de Ubicación del Señalamiento

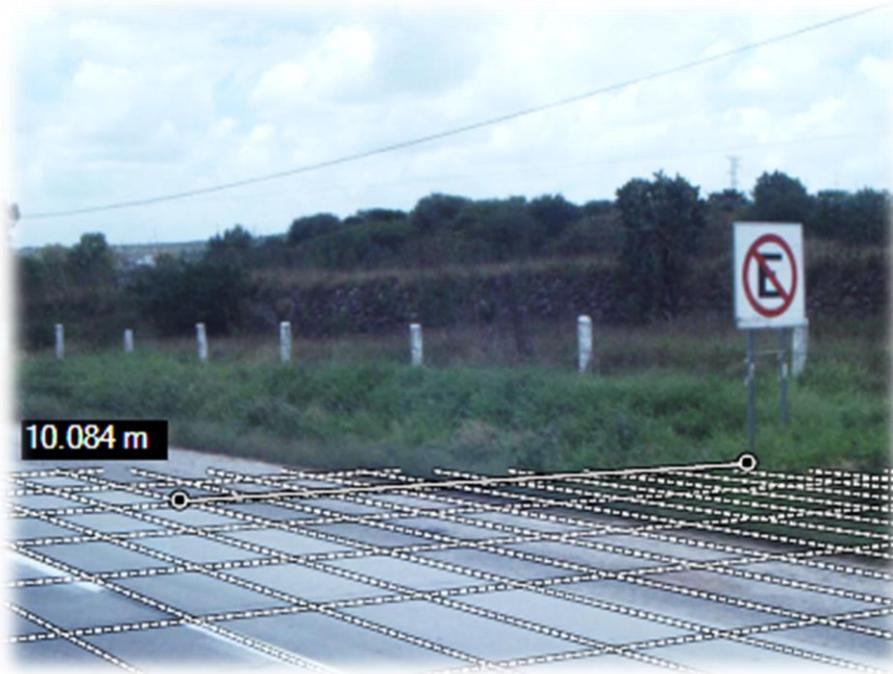


Figura 5. Ubicación Lateral del Señalamiento en el Tramo

En cuanto al estado del pavimento, se encontró que en sitio en el pavimento existen fisuras y hundimientos y hay varias secciones o tramos que se aprecia que la carpeta ha sido sustituida recientemente. En este sentido, podría ser que el estado del pavimento en ese sitio, contribuya a la ocurrencia de accidentes.

6. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO

A través del análisis de las características y elementos que comprende el tramo de estudio, se puede observar que hay diversos factores que contribuyen a la accidentalidad y que explican que el sitio de análisis sea un sitio de tratamiento de accidentes de alta incidencia por lo que la propuesta de mejoramiento se centrará mayormente en la velocidad.

Modificación del alineamiento horizontal. El radio de la curva C6-7 corresponde a un radio para una velocidad de proyecto de 80 kph, el tramo está diseñado para 110 kph por lo que debe ampliarse la curva para que pueda cumplir con el radio requerido para la velocidad de diseño; también se puede cambiar la sobreelevación para que el automóvil no salga del camino por diferencia de velocidades, aumentando la sobreelevación se puede lograr que el conductor tenga más control sobre el cambio de velocidad al que es sometido.

Modificación de la señalización existente. Las señales bajas se encuentran fuera de la distancia máxima de colocación por lo que puede ser un factor importante para los accidentes en el usuario ya que no puede verlas, es por eso que se deben colocar las señales donde corresponde y poner indicadores de velocidad máxima sobre todo a la entrada de la serie de curvas consecutivas como recordatorio al conductor.

Retiro de vegetación. La curva C3-4 tiene una obstrucción a la visibilidad por la el crecimiento de vegetación, se debe contactar a la institución correspondiente para que retire la vegetación que sobresale al camino y que impide la visibilidad de anuncios o de la carretera.

Dispositivos de control de velocidad. Los dispositivos para el control de la velocidad son elementos que se instalan en la superficie del pavimento en posición transversal al eje del camino, que combinados entre sí y con otros elementos de señalamiento horizontal y vertical, constituyen un sistema de control de velocidad que contribuye a que los conductores reduzcan la velocidad con que circulan sus vehículos (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2008), de acuerdo a la norma N-PRY-CAR-10-04-006/08 pueden ser los siguientes:

- Rayas logarítmicas realzadas. Rayas con espaciamiento logarítmico realzadas o complementadas con botones metálicos para producir la ilusión óptica y auditiva de que el vehículo se acelera, induciendo al conductor a disminuir la velocidad.
- Vibradores. Dispositivos que se colocan o construyen en el pavimento para producir vibraciones y un efecto sonoro en el vehículo que atraviesa o circula sobre ellos, alertando así al conductor sobre la existencia de algún peligro potencial para que reduzca su velocidad o rectifique su trayectoria.
- Reductores de velocidad. Dispositivos puntuales que se construyen sobresaliendo del pavimento, solo en casos excepcionales en los que se requiera obligar al conductor a reducir la velocidad del conductor hasta casi detenerlo.

Control de velocidades por la Policía Federal. Para el control inmediato de la velocidad en el tramo, la policía federal puede establecer un monitoreo de vehículos que circulan a exceso de velocidad por la carretera para así lograr que la velocidad de operación disminuya ya que el tramo sería vigilado constantemente por la policía federal.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al realizar la auditoria de seguridad vial, se comprendió que los accidentes ocurridos, pudieran estar relacionado con los rangos de velocidad observados, sobre todo las más altas para el caso de la curva que le corresponde una velocidad de proyecto de 80 km/hr donde el conductor está sometido a cambiar de una velocidad de proyecto de 110 km/hr a disminuir debido a las condiciones geométricas de una curva que requiere una de 80 km/hr donde se pudo observar que han ocurrido accidentes con frecuencia al término de la curva señalada. La convivencia de flujos con velocidades tan dispersas, sobre todo de algunos vehículos de carga y aquellos otros que se incorporan al flujo ocasionando accidentes por alcance debido al diferencial alto entre la velocidad mínima y la velocidad ponderada. Los accidentes en el tramo ocurren mayormente por acceso de velocidad causando un impacto por alcance, a pesar que ha disminuido el número de accidentes es preciso continuar en la misma dirección identificando las medidas necesarias para que la tasa de accidentes continúe disminuyendo. Se recomienda atender a la colocación adecuada de la señalización, remover la vegetación especialmente en las curvas y atender la velocidad por medio de dispositivos de control, señalización de restricción de seguridad y control de velocidades por la Policía Federal.

RECONOCIMIENTOS

Esta investigación fue financiada con fondos de la Red Temática de Accidentes Viales (Número 253411), como parte del programa de Redes Temáticas 2015 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT).

REFERENCIAS

1. American Assosiation of Safety Higway and Transportation Officials. (2010). Highway Safety Manual.
2. ARRB Group. (2011). User Manual: Hawkeye Processing Toolkit and data viewer. Australia: ARRB Group Ltd.
3. ASIRT. (2015). Obtenido de Association for Safe International Road Travel: asirt.org
4. Cuevas, A. C., Pérez, J. G., Mayoral, E. F., & Mendoza, A. (2013). Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales (2013). San Fandila, Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte.
5. Direccion General de Caminos y Ferrocarriles. (2014). Manual de inventarios viales. Lima: Ministerio de tranportes y comunicaciones.
6. Dourthé, A., & Salamanca, J. (2003). Guía para realizar una aditoría de seguridad vial. Santiago,Chile: CONASET.
7. Mendoza, A. D., & Mayoral, E. F. (2011). Seguridad Vial en Carreteras. México: La Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A. C.
8. OMS. (2013). Situación de la seguridad vial en el mundo. Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial, 11-36.
9. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (1984). Libro 2 Normas de Servicios Técnicos. México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
10. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (1991). Manual del proyecto geométrico de carreteras. México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
11. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2008). Proyecto de señalamiento y dispositivos de seguridad en calles y carreteras. En S. d. Transportes, Normativa para la infraestructura del transporte (págs. 26-29). México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
12. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2012). Acciones para el fortalecimiento de seguridad vial. México: SCT.
13. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2014). MANUAL DE SEÑALIZACIÓN VIAL Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD. México: Dirección General de Servicios Técnicos.
14. STCONAPRA. (2013). Tercer informe sobre la situación de laseguridad vial. México: Secretaría de salud.

ALGUNAS HERRAMIENTAS PARA EL LEVANTAMIENTO DE DATOS DE ACCIDENTES VIALES

M. SAUCEDO, G. PÉREZ & N. GÓMEZ

Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte, Instituto Mexicano del Transporte
msaucedo@imt.mx, gperez@imt.mx

RESUMEN

Los accidentes viales constituyen un fenómeno de gran complejidad en el que intervienen un gran número de variables del sistema (hombre, vehículo, carretera y medio ambiente), que admite infinitas asociaciones de las mismas, entre las cuales existen algunas que inexorablemente conducen al accidente. El conocimiento preciso de todos los factores y su intervención en los accidentes en contextos sociales y físicos concretos no es tarea fácil, y en la investigación científica el fenómeno se convierte en la herramienta imprescindible para profundizar en su conocimiento y, a través de él, en sus soluciones.

En la investigación de accidentes viales (IAV) se aborda el estudio de los accidentes con la aplicación de métodos científicos y tiene por objetivo fundamental determinar las causas directas e indirectas que originan el accidente y no el establecer culpables.

Para efectuar una Investigación y Reconstrucción de Accidentes Viales (IRAV), es necesario emplear diversas herramientas para el levantamiento de datos de accidentes viales, las cuales actualmente muestran una gran evolución. Hoy en día, por ejemplo en el caso de levantamientos topográficos, se pueden observar herramientas que permiten contar con precisiones mayores a las antes usadas, como es el caso del escáner 3D, la estación total robótica, el sistema de posicionamiento global (GPS), entre otras, por otra parte, en cuanto a técnicas utilizadas para la investigación de accidentes se encuentra la animación y fotogrametría forense 3D, la inspección técnica virtual y la rectificación topográfica. Además, se hace uso de la tecnología reciente y se aplica en éste campo, tal es el caso del uso de drones, inclusive en la industria automotriz a partir de módulos de control instalados en el vehículo es posible obtener los datos registrados en caso de ocurrir una colisión, información de bastante ayuda al momento de realizar una IRAV. Durante el desarrollo del presente artículo se indicara para diversos países de América algunas de las herramientas que utilizan para el levantamiento de datos de accidentes viales.

1. INTRODUCCIÓN

En el 2013, la Organización Mundial de la Salud (OMS) publicó un informe sobre la situación mundial de la seguridad vial, que indica que, los traumatismos causados por el tránsito son uno de los principales problemas de salud pública, a tal grado que cada año se generan en todo el mundo aproximadamente 1.24 millones de muertes por accidentes de tránsito, siendo la primera causa de mortalidad a nivel mundial en el grupo de edad de 15 a 29 años. El mismo estudio concluye que los accidentes de tránsito figuran como la octava causa de muerte en términos generales, y además pronostica que “si no se toman medidas urgentes, los accidentes de tránsito se convertirán en 2030 en la quinta causa de muerte” [1].

A nivel Latinoamérica, un estudio hecho por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), denominado «The Costs of Road Injuries in Latin America 2013», llegó a la conclusión de que el impacto de los accidentes viales en cuatro países latinoamericanos –Argentina, Colombia, México y Paraguay– se sitúa entre el 1.5% y el 3.9% del Producto Interno Bruto (PIB) de cada uno de esos países, lo cual indica que son magnitudes superiores a las inversiones actuales en seguridad vial [2].

En México, los accidentes viales continúan siendo un importante problema de transporte y salud pública. Según datos recientes (2013), México cuenta con un parque vehicular de 36.7 millones de vehículos [3] y una población de aproximadamente 118.4 millones de habitantes [4]. Asimismo, se tiene un registro de 406,426 accidentes viales, en los cuales se contabilizaron 15,856 muertos, 142,626 heridos y 31,320 heridos graves. La tasa de mortalidad para el 2013 fue de 13.4 muertos por cada 100 mil habitantes, 8% menor a la tasa registrada en 2012, que fue de 14.6 [5]. En cuanto a los accidentes según el sexo se tiene que, de cada 10 muertos, 8 son hombres y 2 son mujeres. Y además se sabe que, más de una tercera parte de los muertos por accidente de tránsito eran usuarios vulnerables (motociclistas, ciclistas y peatones).

2. INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES VIALES

La investigación de accidentes es la ciencia que estudia todos los factores que intervienen en la génesis de los "accidentes" y busca principalmente identificar causas y no establecer culpables.

Dentro de la investigación de accidentes se aborda el estudio de los accidentes, con la aplicación de métodos científicos, cuyo objetivo fundamental es determinar las causas directas e indirectas que lo originaron, establecer las causas que originaron las lesiones en las personas y cualquier otro daño generado en la infraestructura y/o el vehículo, así como también determinar los elementos que hayan influido en su ocurrencia. El resultado que se pretende obtener con la investigación de accidentes son datos y criterios sólidos para influir sobre las variables del sistema hombre-vehículo-carretera, que permitan disminuir el número y la gravedad de los accidentes.

Los campos de aplicación de la investigación se extienden a cada una de esas variables del sistema, y sirven de base para la generación de medidas en los siguientes campos:

- Diseño de vehículos.
- Diseño de estructuras.
- Señalización y control de tránsito.
- Reglamentación técnica.
- Normas de circulación.
- Formación de usuarios de vías públicas.
- Sensibilización ciudadana.

Para realizar una adecuada investigación y reconstrucción de accidentes, son necesarias técnicas y procedimientos para, en un principio realizar la toma de datos de un accidente de tránsito en el lugar de los hechos, procedimiento denominado registro de la evolución del accidente a nivel internacional, y la cual se conoce en México como "Parte de Accidente", información que posteriormente será la base fundamental para plantear la hipótesis de cómo ocurrió el accidente, determinar la secuencia o evolución del mismo y

establecer sus causas; posteriormente a ésta toma de datos, se debe llevar a cabo una inspección ocular del sitio del accidente, seguida de la realización de un croquis ilustrativo y finalmente del trabajo de gabinete para poder realizar la reconstrucción del accidente y definir sus causas probables.

3. HERRAMIENTAS PARA EL LEVANTAMIENTO DE DATOS DE ACCIDENTES VIALES (Experiencias en países americanos)

Las herramientas para el levantamiento de datos de accidentes viales necesario para la Investigación y Reconstrucción de Accidentes Viales (IRAV) actualmente muestran una gran evolución. Hoy en día, por ejemplo en el caso de levantamientos topográficos, se pueden observar herramientas que permiten contar con precisiones mayores a las antes usadas, como es el caso del escáner 3D, la estación total robótica, el sistema de posicionamiento global (GPS), entre otras, por otra parte, en cuanto a técnicas utilizadas para la investigación de accidentes se encuentra la animación y fotogrametría forense 3D, la inspección técnica virtual y la rectificación topográfica. Además, se hace uso de la tecnología reciente y se aplica en éste campo, tal es el caso del uso de drones, inclusive en la industria automotriz a partir de módulos de control instalados en el vehículo es posible obtener los datos registrados en caso de ocurrir una colisión, información de bastante ayuda al momento de realizar una IRAV.

Por otra parte, con la revolución tecnológica de los últimos años, la aparición de los teléfonos inteligentes Smartphone y la gran oferta de Aplicaciones Informáticas (Apps), se ha abierto un abanico de posibilidades muy atractivo para la reconstrucción de accidentes viales. Actualmente, es posible encontrar aplicaciones gratuitas o de bajo costo que ayudan de manera considerable en las tareas de toma de datos y de cálculo. Algunas de ellas se mencionan a continuación:

✚ Para el caso del levantamiento de datos:

- Una de las aplicaciones más sencillas es “Clinometer”, que permite medir la pendiente de la carretera en grados o en %.
- Para el caso de acelerómetros, existen múltiples aplicaciones para tal uso como es el caso de: “Sensor Kinetics”, “Accelerometer Monitor”, “Accelerometer Sensor”, entre otras. Éstas utilizan el propio acelerómetro incorporado en el Smartphone y miden y registran la aceleración que experimenta el teléfono en un determinado espacio de tiempo. La utilidad que se puede extraer en reconstrucción de accidentes es muy variada, una de las más atractivas es la de test de frenada. Fijando el terminal al vehículo se pueden efectuar pruebas de frenada y obtener el valor de deceleración de un vehículo en concreto. De esta manera no se tiene que estimar el valor del coeficiente de fricción y se gana en precisión a la hora de efectuar los cálculos. También es posible obtener el valor de aceleración de un vehículo y la aceleración lateral máxima de paso por curva.

✚ Para el caso del cálculo de datos:

- “Accident Recon Calculator”. Esta aplicación es una calculadora que ayuda a calcular valores como la velocidad por huella de frenada, la velocidad crítica de una curva o la velocidad de atropello por proyección; también proporciona los datos técnicos de algunos vehículos o los coeficientes de rozamiento más habituales. Otras aplicaciones similares son “Crashdroid”, o “Crush and Stiffnes”, con la que se

pueden calcular el EBS (Equivalent Barrier Speed), los coeficientes de rigidez y la energía de deformación a partir de las medidas tomadas del perfil deformado del vehículo en estudio.

A continuación se mencionarán algunas de las herramientas utilizadas para el levantamiento de datos de accidentes viales necesario para la IRAV en diversos países americanos.

3.1 Estados Unidos de América (EUA)

Actualmente, se tiene registro de una nueva y muy potente herramienta para los peritos en la investigación y reconstrucción de accidentes de tráfico, el Crash Data Retrieval (CDR) y el Event Data Recorder (EDR), el cual es una función o dispositivo instalado en el módulo de control de las bolsas de aire (ACM). La herramienta CDR es un sistema compuesto por un hardware y un software que permite el acceso a la información que queda registrada tras una colisión dentro del ACM u otro módulo. Actualmente el uso de esta herramienta está plenamente extendido en EUA, siendo usada por fuerzas del orden, peritos reconstructores, los gestores de flotas e investigadores del gobierno para tener acceso a dicha información.

La capacidad del ACM para guardar los datos después de una colisión ha llevado a algunos a referirse erróneamente a este sistema como “caja negra”. En realidad no es ningún sistema independiente que esté destinado exclusivamente a registrar datos en caso de accidente, sino que es un sistema o dispositivo dentro del ACM, que recoge y registra información necesaria para el correcto funcionamiento de dispositivos, como pueden ser las bolsas de aire o los pretensores de los cinturones. El ACM utiliza los sistemas de detección de colisión, sensores de cinturón de seguridad y los sistemas de detección de presencia para decidir si las bolsas de aire y otros dispositivos del sistema de retención se activan o no y cuándo. Cuando se cumplen ciertas condiciones, el módulo de control de las bolsas de aire graba los datos asociados a estos cambios bruscos en la aceleración, la dirección o rotación (es decir, una colisión) durante un breve período de tiempo (segundos, no minutos) antes, durante y después de un accidente. Esta información, en caso de colisión, queda registrada y puede ser extraída a través del CDR, interpretada y utilizada para la investigación de las causas de un accidente. Es una información de la cual ya se disponía dentro de los diferentes módulos del vehículo, pero que ahora se puede extraer y utilizar para la investigación y reconstrucción de accidentes de tráfico [6]. La Figura 1 muestra a manera de ejemplo como pueden obtenerse los datos registrados en caso de una colisión.

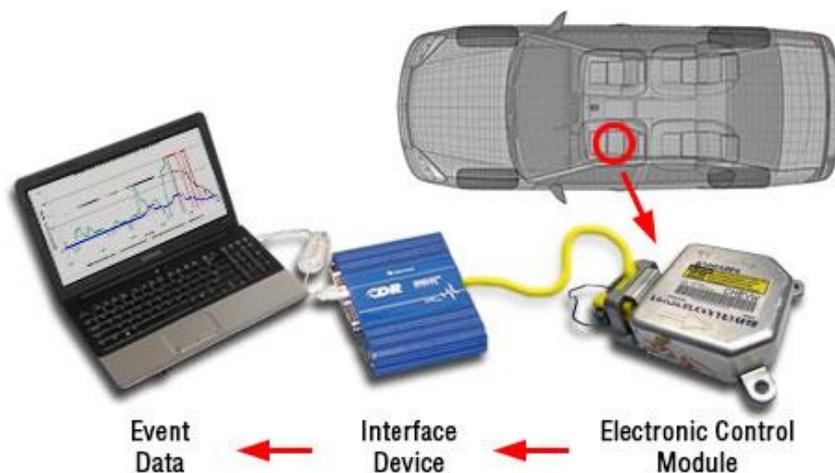


Figura 1 – Ejemplo de sistema usado para de la obtención de datos grabados durante una colisión

El sistema de CDR puede ayudar en los siguientes aspectos:

- La obtención de los datos pre-colisión y de colisión de los vehículos, así como de la intensidad de colisión.
- Evaluar de manera más precisa y detallada el análisis de velocidad e intensidad de la colisión.
- Proporcionar datos más precisos para la reconstrucción del accidente.
- Determinar si ciertas situaciones de colisión son posibles.
- Detección de fraudes.

En 2005 el 64% de la producción de coches en los EUA estaba provista de EDR y en 2013 la instalación de EDR pasa a ser obligatoria en todos los coches (estadounidenses, europeos y asiáticos) vendidos en EUA y Canadá.

3.2 Colombia

En el caso de Colombia, uno de los aspectos principales en los que se trabaja para tener una adecuada IRAV es el manejo del lugar de los hechos [7], aspecto ante el cual se describe que es algo complejo dependiendo de la magnitud del accidente y los diferentes elementos materia de prueba y evidencia física encontrados en el sitio. El procedimiento que se sigue para el levantamiento de datos de accidentes viales, es el siguiente: Al llegar al lugar de los hechos, se debe prestar mucha atención a los procedimientos de verificación y confirmación del hecho, determinando si existen solo daños o se presentaron víctimas determinando su gravedad y procediendo con la atención de primeros auxilios, entre otras cosas. Una vez evacuadas las víctimas, se realiza la protección del lugar de los hechos y se toma nota de las personas implicadas en el accidente, así como conductores y testigos. La primera autoridad en el lugar de los hechos debe realizar una observación de los elementos materia de prueba y evidencia física y realizar la respectiva acta donde se registra lo observado. Antes que nada se debe determinar si en el lugar de los hechos existe un accidente de tránsito, deportivo, laboral, entre otros, por eso es importante tener en cuenta la definición del accidente como un hecho que se ha generado por al menos un vehículo en movimiento y como resultado se presentan daños, lesiones o muertes. Una vez determinado el accidente, se continúa con el análisis del impacto en las diferentes masas, para determinar la clase de accidente, ya sea esta un atropello, volcamiento, colisión, choque con objeto fijo, caída de ocupante, incendio, otros. En el formato diligenciado por las autoridades de tránsito en el lugar de los hechos, se marca siempre el primer impacto, las clases de accidentes producidas posterior a este y se realizan a modo de observaciones la descripción de una dinámica del accidente. Posteriormente se hace una descripción del lugar de los hechos, se toman registros fotográficos y se realiza la fijación planimétrica utilizando el método de medición que más se adecue al sitio y a su facilidad, como por ejemplo, el método de coordenadas cartesianas, triangulación o coordenadas angulares, entre otros. Por ejemplo, explicando de manera breve el método de coordenadas cartesianas, consiste en la medición de un punto con respecto a una línea base (Eje X) formando un ángulo de 90 grados y, posteriormente a un punto de referencia del cual se ubicará el Eje Y. El Punto de referencia en las intersecciones debe ser la prolongación de las vías (esquinas) tomando distancias de ancho de calzadas, carriles y andenes o aceras. En el caso de tramos de vías en zona urbana se utiliza como punto de referencia el lindero de las edificaciones, de no existir, se hará a un poste de alumbrado público o de líneas telefónicas. En zonas

rurales se hará a los postes de kilometraje. Los elementos a fijar planimétrica y fotográficamente en el lugar de los hechos son:

- Vehículos y sus huellas marcadas en la superficie vial. La medición de los vehículos hacia la línea base, se podrá realizar a partir de los vértices o ejes del mismo; lo importante es que posteriormente se tomen las distancias entre ejes y volado delantero y trasero de cada vehículo u su ancho. Igualmente las deformaciones.
- Vidrios y restos de líquidos
- Posición final de Víctimas.
- Ancho y longitud de las diferentes huellas en la vía, cotejadas con las llantas que las marcaron.

En el caso de huellas curvas, la longitud se medirá por encima de la huella formando la misma curvatura. Para el plano, se deben tener en cuenta una medida entre el inicio y final de la huella en línea recta (cuerda) y en el centro de la línea se tomará la distancia de la cuerda hacia la huella (ordenada media) con el fin de hallar el radio de la curva. El mismo método se utiliza para hallar el radio de curvatura de la vía. Si la vía es curva, además de determinar su radio, se debe analizar el porcentaje del peralte. El porcentaje del peralte se determina con la misma fórmula para hallar el porcentaje de la pendiente de la vía: se extiende la cinta métrica en forma horizontal sobre la vía sin que toque la superficie vial (solo el punto cero de la cinta) manteniendo su posición con un nivel de mano con la distancia que desee, posteriormente se toma la distancia entre la cinta métrica elevada y la superficie de la vía. La fórmula es la distancia vertical sobre la horizontal, multiplicado por 100%.

Una vez realizada la fijación planimétrica y fotográfica, se verifica la señalización horizontal y vertical de la vía, si cuenta con seguridad pasiva, distancias entre la señalización, dispositivos luminosos, señales de obra, etc. Se determina el diseño vial y sus características, material y estado de la superficie vial.

Con todos los elementos materia de prueba encontrados en el lugar de los hechos, se realiza un análisis relacionando lugar y punto de impacto, ubicación de las masas al momento del impacto de acuerdo con sus deformaciones (distancias y alturas), y junto con la posición final adoptada por los mismos, se identifican las trayectorias de las masas antes del impacto; posteriormente se determina el sentido en que viajaban y por qué carril circulaban.

Con respecto a las deformaciones, estado de la superficie de la vía, diferencia de masas y las huellas marcadas en la vía, es importante determinar la velocidad aproximada a la cual viajaba el vehículo. La fórmula física utilizada para determinar la velocidad es la descrita en el libro de Ribers denominado *Traffic Accident Investigator's Handbook*:

$$V = 15.9 \sqrt{f d_f}$$

dónde:

- f = Coeficiente de rozamiento (de acuerdo a la superficie vial y llantas del vehículo)
- d_f = Distancia de la huella de frenado.

Enseguida, se identifican las causas que dieron origen al accidente, se analizan detenidamente todos los datos recolectados y se realiza una hipótesis acerca del cómo y porqué se presentó el mismo. No se ubican responsabilidades, solo causas.

Todos los accidentes son diferentes, no en todos los casos es tan fácil determinar velocidades, se necesitan realizar otras operaciones, determinar que estamos en frente de huellas de frenado y no ante trayectorias marcadas por vehículos pesados, etc.

A partir de la información obtenida del análisis del accidente de tránsito realizado durante la investigación, se hace uso de las ciencias de la física, ingeniería mecánica, matemáticas, química, medicina, entre otros, así como el uso de software, para realizar la reconstrucción del accidente, el cual es aportado en el proceso disciplinario, administrativo o jurídico.

Para iniciar la investigación y reconstrucción del accidente, se solicitan los documentos de la información recolectada por la Policía de Tránsito o Agentes de Tránsito que conocieron en primera instancia del hecho. Igualmente se solicita copia del resumen de historia clínica de las víctimas, copia de los experticios técnicos o inspección de vehículos (daños, huellas), fotografías, actas de inspección al lugar de los hechos, entre otros. Una vez revisada la información suministrada, es necesario trasladarse al lugar de los hechos para inspeccionarlo y realizar un levantamiento topográfico mediante el uso de herramientas tecnológicas de precisión (escáner 3D, estación robótica, estación total, teodolito electrónico, nivel de precisión, GPS y distanciómetro laser). Igualmente se realiza registro fotográfico de la geometría vial y la señalización vertical y horizontal, así como de huellas o elementos materia de prueba y evidencia física que hayan podido contribuir o ser un resultante del accidente de tránsito. Una vez recolectada la información topográfica de la vía se elabora el respectivo dibujo topográfico digital y se compara con la información topográfica levantada por los agentes o policías de tránsito que conocieron el accidente. La información contenida en los croquis o bosquejos topográficos, correspondiente a la fijación topográfica de los elementos materia de prueba y evidencia física recolectados el día de los hechos por la policía o agentes de tránsito, se ubican sobre el dibujo topográfico digital realizado, procediendo posteriormente al análisis de la posición final de dichos elementos y evidencias. Seguidamente se elabora por parte de los investigadores, un análisis e informe pericial respecto a la inspección realizada al lugar de los hechos, análisis de vehículos, víctimas, huellas y plano topográfico, con el fin de realizar la dinámica del accidente y el análisis físico y matemático, teniendo en cuenta la normatividad de tránsito vigente. Posteriormente, la información registrada en el informe pericial, es llevada a un software de reconstrucción de accidentes, lo que permite visualizar desde diferentes ángulos las fases del accidente y concluir las causas que dieron origen al hecho, es decir, el cómo y porqué se presentó el accidente. Finalmente se realiza la reconstrucción del accidente mediante el uso de software y terminada la reconstrucción se obtiene un video que contiene el resumen del informe pericial de reconstrucción de accidentes de tránsito y su reconstrucción en tercera dimensión del per-impacto, impacto y post-impacto. Y para concluir, de acuerdo con el Código de Procedimiento Penal, el perito comparecerá al correspondiente juicio oral y público para sustentar el informe pericial de reconstrucción de accidentes de tránsito (IPRAT).

3.3 Ecuador

Similarmente a como se hace en Colombia, en Ecuador se realiza el levantamiento de datos de accidentes viales, en el cual las herramientas que utilizan son un levantamiento topográfico mediante el uso de herramientas tecnológicas de precisión (escáner 3D, estación robótica, estación total, teodolito electrónico, nivel de precisión, GPS y distanciómetro laser), así como registros fotográficos, de igual manera es necesario realizar la fijación planimétrica utilizando un método de medición que más se adecue al

sitio y a su facilidad, como por ejemplo, el método de coordenadas cartesianas, triangulación o coordenadas angulares, entre otros.

Por otra parte, a partir de marzo del 2015, dentro de la tecnología empleada para el levantamiento de datos de accidentes viales, se utilizan drones. Se implementaron 22 drones en seis de las 24 provincias de Ecuador, los cuales mediante la grabación desde el espacio aéreo, la toma de videos y fotografías permitirán la investigación de accidentes de tránsito. Hablando un poco más acerca de los drones que están siendo utilizados, se tiene que cuentan con un software para hacer fotografías y videos con tecnología digital 3D, desde 400 metros de altitud con una duración de 25 minutos [8].

3.4 Venezuela

En Venezuela las herramientas, así como los métodos de medición que se utilizan para el levantamiento de datos de accidentes, son bastantes parecidas a las mencionadas para Colombia. Algunas de las técnicas en las que se basan para la investigación de accidentes viales son [9]:

- Animación forense 3D, la cual consiste en elaborar animaciones del accidente en formato tridimensional cumpliendo rígidos protocolos de actuación que permiten conocer a cabalidad el esquema de ocurrencia de la colisión, obtenido a partir de los informes de reconstrucción. En casos donde los datos 3D sean cruciales, el proceso de colección de las evidencias se realiza empleando equipos de alta precisión. En ocasiones, los casos exigen que las presentaciones sean una mezcla de distintos tipos de gráficos. Por ejemplo, los informes videográficos incluyen una diversidad de gráficos, tanto 2D como 3D, además de animaciones, fotografías y visualizaciones que dan como resultados presentaciones más exigentes.
- Fotogrametría forense 3D, la cual consiste en obtener información fidedigna y precisa de objetos físicos y su entorno a través de fotografías digitales o análogas para la medición e interpretación de imágenes. La Fotogrametría convierte fotografías 2D (bidimensionales) en elementos 3D (tridimensionales) utilizando para ello, el principio fundamental de la triangulación. La triangulación es la intersección de los rayos o línea de visión en el espacio 3D (tridimensional) para determinar con precisión la ubicación de un punto.
- Inspección técnica virtual, es una técnica mediante la que se obtiene una evaluación completa de la escena a través de fotografías panorámicas en un entorno de 360°, la cual ofrece una manera fácil de reconstruir una escena del crimen 3D sin precedentes a los investigadores, que les lleva de vuelta a éstas escenas de crímenes y permiten recorrerla en detalle. Cabe mencionar que, mediante el empleo de esta práctica, se facilita la observación, medición, documentación y exposición en los Tribunales de Justicia del evento de tránsito objeto de estudio.
- La rectificación fotográfica, es el proceso de obtención de una fotografía vertical equivalente a partir de una fotografía inclinada, lo cual resulta ser una herramienta muy útil e interesante. En teoría son fotos realmente verticales, y como tales, están libres de desplazamientos por inclinación y en ellas podemos medir de manera directa, ya que son ortogonales y están a escala. Para conseguir una imagen rectificadas únicamente se necesita de una cámara fotográfica. La fotografía debe enmarcar el área de la vía que contenga la información que se quiere representar en el plano a escala, como por ejemplo los vestigios del accidente: huellas, punto de colisión, posiciones finales, etc. Las marcas de spray de los cuerpos policiales pueden ser muy útiles a la hora de situar los diferentes vestigios. Cabe mencionar

que cuánto mayor calidad tenga la imagen y cuánto mayor sea la altura a la que se tome la fotografía respecto al suelo, menor será el error cometido tras la rectificación. Esta fotografía también deberá contener elementos de medidas conocidas, como por ejemplo un paso de peatones o algún elemento de señalización horizontal de la calzada. Si esto no fuera posible, se deberán tomar cuatro puntos, por ejemplo sobre las líneas separadoras del acotamiento, que conformen un cuadrado, del cual se medirá la longitud de los lados y su diagonal. Actualmente existen diferentes programas de computación que permiten efectuar la rectificación fotográfica, y además, cabe mencionar que es una herramienta que se utiliza en otros países, por ejemplo, existen programas de simulación de accidentes viales que ya incluyen esta herramienta, como es el caso de “PC CRASH”, que dispone de un módulo suministrado a parte que permite la rectificación fotográfica llamado “PC RECT”. “VIRTUAL CRASH 3.0” también dispone de esta herramienta, con la ventaja de que ésta ya se incluye integrada dentro del mismo programa. Las ventajas de éste sistema son evidentes: se puede disponer de un plano a escala con los vestigios del accidente con tan solo tomar una fotografía del escenario, sin necesidad de efectuar infinitas medidas y cometiendo un error mínimo, si lo comparamos con el cometido efectuando las medidas a mano sobre la calzada [10].

3.5 Chile

En el caso de Chile, uno de los organismos creado para realizar investigación vial de accidentes de tránsito (IVAT) levantando información en terreno es el Departamento de Investigación Vial de Accidentes de Tránsito (DIVAT). La manera en como el DIVAT procede para la investigación de accidentes viales, consiste en: una vez informado de la ocurrencia de un accidente de relativa importancia (cierto número de lesionados o fallecidos, menores involucrados, accidentes en autopistas concesionadas, accidente en intersección conflictiva, entre otros), personal del DIVAT concurre al lugar y realiza la investigación de terreno (primera fase de la IVAT), la cual comienza con una inspección visual del entorno del accidente. Posteriormente, se analizan, registran y levantan los indicios, rastros y huellas del accidente, además de la información relativa a las vías y su entorno tales como señalizaciones, demarcaciones, pendientes, peraltes, radios de curvas, puntos duros, entre otras cosas, datos que, analizados más tarde en gabinete, permitirán reconstruir el accidente antes, durante y después de su ocurrencia. Lo anterior se realiza a través de mediciones con equipo especializado (pistola láser, odómetro, GPS, entre otros), lo cual permite fijar todos los elementos en un croquis que se confecciona en el lugar para dar origen más tarde a un plano digital confeccionado en software de tipo CAD, sin perjuicio de la toma de fotografías digitales de cada detalle que sea útil para los fines de la investigación.

La segunda fase de la investigación es la relativa a la inspección visual de los vehículos, la que permitirá establecer daños pre y post accidentes, deformaciones, estado general y comportamiento de partes y piezas de los vehículos. Esta fase dependerá del tiempo transcurrido entre la ocurrencia del accidente y el aviso al DIVAT. Una vez recogida la información de terreno, se procede a su análisis en gabinete, donde se elabora un completo informe técnico que contiene, entre otros datos, lo siguiente:

- Antecedentes administrativos (fecha, hora, lugar, datos de participantes, etc.)
- Antecedentes de la vía (jerarquización, tipo de pavimento, número de pistas, etc.)
- Evolución del accidente, según los datos que se posean.

- Factores de la vía y su entorno que afecten la seguridad vial, así como las respectivas recomendaciones para remediarlos [11].

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como se dijo, los traumatismos causados por el tránsito son uno de los principales problemas de salud pública y ante esta situación se deben de tomar medidas para evitar que se vuelva el principal problema de salud pública a nivel mundial, alguna de estas medidas que pueden tomarse consiste en realizar más y mejores Investigaciones y Reconstrucciones de Accidentes Viales, y aplicar de la mejor manera los conocimientos que de ellas se obtengan.

Existen diversas herramientas para el levantamiento de datos de accidentes viales, por lo cual resulta de gran importancia conocerlas y ver cuáles pueden adaptarse de acuerdo a las necesidades que se tengan en cada país.

Cada día la tecnología empleada en la IRAV ha ido mejorando permitiendo contar con herramientas de mayor precisión y de fácil uso, con lo cual entre otros objetivos, se podrán conocer de mejor manera las causas de los accidentes para a partir de éstas, proponer medidas de mejoramiento efectivas que permitan mejorar la Seguridad Vial.

Es recomendable seguir explorando el tema de las herramientas para el levantamiento de datos de accidentes viales, ya que en este artículo únicamente se mencionaron algunas que corresponde a lo aplicado en países americanos, y si buscamos en otros países del mundo, como en los europeos, se dará cuenta que existe una gran cantidad de información que resulta ser de gran utilidad a la hora de realizar una IRAV.

RECONOCIMIENTOS

Esta investigación fue financiada con fondos de la Red Temática de Accidentes Viales (número 253411), como parte del programa de Redes Temáticas 2015 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT).

REFERENCIAS

1. World Health Organization (WHO). Global Status Report on Road Safety 2013. Switzerland, WHO, 2013
2. BHALLA, Kavi. The Costs of Road Injuries in Latin America 2013. Washington, BID, 2013
3. Vehículos de motor registrados en circulación (2014). Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/?idserpadre=10900530&d10900530#D10900530> página web:
4. Proyecciones de la población 2010-2050 (2014). Consejo Nacional de Población (CONAPO), página web: <http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones>
5. Secretariado Técnico Consejo Nacional para la Prevención de Accidentes (STCONAPRA). Informe sobre la Situación de la Seguridad Vial, México 2014. México, Distrito Federal, STCONAPRA, 2014
6. 14. Reconstrucción de accidentes de tráfico IPSUM. Investigación y reconstrucción de accidentes de tráfico: las mal llamadas cajas negras, ¿Qué es el CDR y el EDR? [en línea]. IPSUM, 2015 [Fecha de consulta: 30 julio 2015]. Disponible en: <http://reconstruccionaccidentestrafico.com/investigacion-y-reconstruccion-de-accidentes-de-trafico-las-mal-llamadas-cajas-negras-que-es-el-cdr-y-el-edr/>
7. REMOLINA Caviades, Edwin. Manejo del lugar de los hechos [en línea]. Investigación y Reconstrucción de Accidentes de Tránsito [Fecha de consulta: 02 julio 2015]. Disponible en: <http://www.investigacionaccidentes.co/>
8. 11. teleSUR-Andes-Prensa Latina. Ecuador usará drones para investigar accidentes viales [en línea]. TeleSURtv, Ecuador 2 marzo, 2015 [Fecha de consulta: 21 julio 2015]. Disponible en:

<http://www.telesurtv.net/news/Ecuador-usara-drones-para-investigar-accidentes-viales-20150302-0042.html>

9. TechniCrash International, Inc. Crash & Crime, Software & Hardware [en línea]. TechniCrash International, Inc., Venezuela [Fecha de consulta: 21 julio 2015]. Disponible en: <http://issuu.com/technicrashinternational/docs/folleto_technicrash_version_ecuador_58588443b147a7>
10. Reconstrucción de accidentes de tráfico IPSUM. La rectificación fotográfica, una herramienta muy interesante en la reconstrucción de accidentes de tráfico [en línea]. IPSUM, 2015 [Fecha de consulta: 31 julio 2015]. Disponible en: <<http://reconstruccionaccidentestrafico.com/la-rectificacion-fotografica-una-herramienta-muy-interesante-en-la-reconstruccion-de-accidentes-de-traffic/>>
11. Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito (CONASET). Ficha N°55 Investigación Vial de Accidentes de Tránsito [en línea]. CONASET, Chile, 2014 [Fecha de consulta: 29 julio 2015]. Disponible en: <http://www.conaset.cl/wp-content/uploads/2014/01/fichas_accion_55.pdf>

EL VEHÍCULO COMO FACTOR DE ESTUDIO EN LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES VIALES

V. J. SORIA & J. L. GUTIERREZ

Coordinación de Seguridad y Operación, Instituto Mexicano del Transporte, México
vsoria@imt.mx & jlgh@imt.mx

RESUMEN

En la Red Carretera Federal de México, la interacción de todo tipo de vehículos (automóviles, autobuses, y vehículos de carga unitarios, articulados y doblemente articulados) es muy común lo que implica un alto riesgo en la ocurrencia de accidentes viales. Las prácticas internacionales para la investigación de accidentes proponen considerar todos los posibles factores que intervienen en una colisión (factor humano, vehículo, infraestructura y entorno, leyes y reglamentos, control policíaco) antes, durante y después de sucedido el evento, para con ello poder determinar de una manera más precisa la posible causa del mismo. Este artículo pretende centrar su análisis en la influencia que tiene el factor vehículo al momento de querer establecer la posible causa de una colisión, considerando para ello algunas características reportadas en el Estudio Estadístico de Campo para vehículos de carga, autobuses y automóviles 2013, así como su posible correlación con las cifras de accidentalidad reportadas para el sitio o carretera específica, utilizando para ello algunos ejemplos concretos. Asimismo, se pretende proporcionar tanto al investigador de accidentes viales como a las autoridades competentes elementos del factor vehículo que no solo sirvan para determinar la posible causa del accidente, sino que éstos permitan tomar algunas medidas preventivas que reduzcan la probabilidad de colisiones futuras.

1. PRÁCTICAS INTERNACIONALES EN LA INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES

De acuerdo con la literatura internacional (estudios, prácticas o recomendaciones), la investigación y reconstrucción de accidentes tiene por objetivo recrear cada una de las fases (reacción, decisión y conflicto) en las cuales se orquestó un accidente vial, por ello, debe tenerse mucho cuidado en observar y recuperar cada uno de los elementos (evidencias) que contribuyen a determinar los posibles factores que intervienen en la colisión, de manera tal que se tenga una mejor comprensión de los acontecimientos ocurridos, haciendo lo más real posible la reconstrucción de los mismos. Así pues, de acuerdo con el documento Lineamientos Generales para establecer una Política Institucional sobre Investigación de Accidentes de Tránsito en Carreteras Federales [1] tenemos que “la investigación de accidentes es la ciencia que estudia todos los factores que intervienen en la génesis de los mal llamados “accidentes” y que ésta busca principalmente identificar causas y no establecer culpables. La investigación de accidentes debe identificar y neutralizar los riesgos desde su fuente u origen, evitando asumir sus consecuencias como inevitables”. Dentro de los objetivos que debe perseguir la investigación de accidentes se encuentran los directos, encaminados a conocer la secuencia de los hechos y deducir las causas que los generaron; y los preventivos, que buscan aprovechar la experiencia de accidentes ocurridos en los cuales ya se han determinado claramente las causas y por lo tanto, lo que se busca es establecer medidas preventivas. Cabe señalar que una de las muchas recomendaciones de dichos lineamientos es que con la información en el “Parte de Accidentes”, se determinen las

características físicas, geométricas y ambientales de la carretera, hora de ocurrencia, tipo de vehículo, edad y sexo de los involucrados, entre otros.

De lo anterior se concluye que las “causas” de un accidente están en función de los factores que intervienen en el mismo, es por ello que se recomienda contemplar en la investigación de los accidentes al menos los siguientes tres factores: el humano, el vehículo y la vía (incluyendo el entorno). Respecto al entorno de la vía se consideran las características geométricas y las condiciones de operación (por ejemplo la composición vehicular y sus diferenciales de velocidades). Adicionalmente se necesita tener en cuenta la supervisión policial, así como todo lo relativo a las leyes y reglamentos (normatividad). Por lo tanto, los autores consideran pertinente realizar el siguiente cuestionamiento, si ya se conoce el índice de accidentes de una carretera, los principales tipos de accidentes, así como algunas de las condiciones de los diferentes tipos de vehículos que circulan por esa vía, entonces, cuando ocurre una colisión ¿realmente son considerados todos los elementos del factor vehículo en la investigación y reconstrucción del accidente? Para dar una posible respuesta así como algunos elementos de análisis, se proporcionarán algunos ejemplos concretos de carreteras donde por sus características y flujos vehiculares ya se tiene un antecedente de cómo se comporta el tráfico vehicular, lo que implica que en muchas ocasiones la vialidad resulte ser más susceptible a la ocurrencia de accidentes. Por lo tanto, la finalidad de este artículo es aportar algunos elementos que faciliten el análisis en la reconstrucción de accidentes, en vialidades donde debido a la interacción misma de las diferentes configuraciones vehiculares, la explicación de las posibles causas de la colisión puedan obtenerse no sólo a partir del factor humano, sino a partir de todos los factores que intervienen de manera directa o indirecta, asimismo, se pretende que a través de este análisis se tomen en consideración algunas medidas de prevención oportunas.

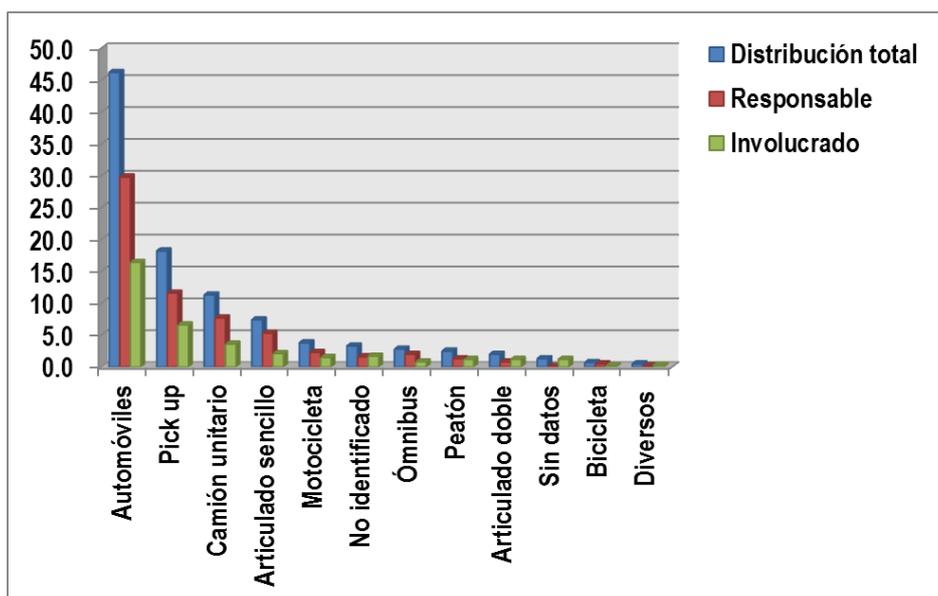
1.1. Diversas configuraciones vehiculares compartiendo la misma vía

Por todos es conocido que en México la interacción de todo tipo de vehículo en la Red Carretera Federal (RCF) es un factor de riesgo en la ocurrencia de accidentes viales, ya que el mismo espacio es utilizado por todo tipo de usuarios, es decir, desde aquellos que lo utilizan para trasladarse de un origen a un destino por motivos personales, de trabajo, diversión, estudio, entre otros, así como por aquellos que tienen que mover mercancías con grandes volúmenes, materiales y residuos peligrosos, materiales o vehículos con dimensiones mayores a las autorizadas en una vía, etc. Así pues, uno puede observar cómo la interacción de los diferentes tipos de vehículos (automóviles, autobuses, y vehículos de carga unitarios, articulados y doblemente articulados) presentan algunas cifras de accidentalidad que merecen ser consideradas para tomar medidas preventivas que reduzcan la probabilidad de colisión entre ellos.

En el Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales (AEACF) 2013 [2] se reportó que en ese año ocurrieron un total de 22 002 accidentes viales (de acuerdo con la base de datos analizada), dejando un saldo de 24 033 víctimas, de las cuales 3 688 fueron víctimas mortales y 20 345 heridos, asimismo se determinaron algunos de los tipos de accidentes más frecuentes tales como: salida del camino con un 29,7%; colisión lateral 17,2%; colisión por alcance 14,4%; colisión contra objeto fijo 12,1%; colisión con usuario vulnerable 9,6%; colisión frontal 6,8%; y volcadura 5,4%; entre las más destacadas, representando poco más del 95% del total de accidentes. Por otro lado, se establecieron tres causas atribuibles a dichos accidentes, siendo el factor humano la más alta con un 92,3%, seguido por el vehículo con un 5,3%, y el camino con un 2,3% (cabe señalar que el 10,2% no tenían información acerca de la posible causa).

Ahora bien, debido a que el vehículo resultó ser la segunda causa de accidentes en 2013 y nuestro objetivo es establecer la importancia que juega el vehículo como factor importante en la incidencia de los accidentes viales y por ende en la reconstrucción de éstos, queremos destacar que de acuerdo al Anuario Estadístico de Accidentes se concluyó que en la distribución de causas de accidentes atribuibles al vehículo, las malas condiciones mecánicas ocuparon el primer lugar con un 58,7%; seguidas por los neumáticos con un 33,3%; en tercer sitio se ubicó el rubro relativo a la carga con un 5% y finalizando con un 2,8% para la categoría de “otros del vehículo”.

Por último, en la Figura 1 mostramos la distribución porcentual relativa al tipo de usuario y su participación en accidentes viales de la RCF, así, tenemos que de acuerdo al AEACF 2013, fueron los automóviles quienes obtuvieron los porcentajes más altos, tanto a nivel general de participación (46,2%) como a nivel de responsabilidad e involucramiento (29,8% y 16,4% respectivamente); le siguen los vehículos utilitarios conocidos como pick up con un 18,2% siendo responsables en un 11,6% de los casos e involucrados en un 6,6%; en tercer lugar encontramos a los camiones unitarios (C2 y C3) con un 11,3% de participación, un 7,7% en responsabilidad y en un 3,6% resultó involucrado; por último mencionaremos a los vehículos articulados sencillos (tractor-semirremolque), quienes representaron el 7,4% de la distribución total, y fueron responsables e involucrados en un 5,3% y 2,1% respectivamente.



Fuente: Elaboración propia con información del Anuario Estadístico de Accidentes 2013 [2]

Figura 1 – Porcentaje de distribución por tipo de participante en accidentes de la RCF

1.2. Elementos a considerar dentro del factor vehículo

De acuerdo con el Manual de Investigación y Reconstrucción de Accidentes de Tráfico [3], las causas de los accidentes se encuentran en función de al menos tres factores o elementos: el factor humano, es decir, el hombre y sus circunstancias psico-físicas; el vehículo y su tecnología; y la vía, la cual comprende el entorno, es decir las condiciones ambientales. En lo que respecta al factor vehículo, éste debe considerar entre otros elementos las condiciones físico-mecánicas del vehículo (neumáticos, sistema de dirección, sistema de frenado, sistema de amortiguación, condiciones de luminosidad de faros, intermitentes y direccionales, entre otros); los dispositivos de seguridad activa y pasiva, recordemos que los *dispositivos de seguridad activa* son los elementos que

ejercen su función mientras el vehículo está en movimiento y pueden ser manejados a voluntad del conductor (su función es evitar el accidente), mientras que los *dispositivos de seguridad pasiva*, son aquellos elementos que sólo desarrollan su función en el momento del accidente (su función principal es mitigar las consecuencias); *tecnología disponible*.

Por lo tanto, durante la reconstrucción de un accidente es muy importante recabar toda la información disponible acerca de las condiciones físico-mecánicas de los vehículos involucrados, así como de los dispositivos de seguridad activa y pasiva con los que contaban éstos, de manera que provean pistas o indicios de cómo éstos posibles elementos influyeron en las fases del accidente. En este sentido, el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) ha aportado algunos elementos de estudio acerca de las características propias de los vehículos que circulan por la RCF, a través de los Documentos Técnicos Estudio Estadístico de Campo del Autotransporte Nacional (EECAN), para vehículos de carga [4], autobuses de pasajeros [5] y automóviles [6]. Dado que los autores de este artículo publican año con año (desde 1991) el EECAN, han elegido el año 2013 como referencia, debido a que en ese año se incorporó por primera vez el análisis estadístico para automóviles. Cabe señalar que la ubicación de las estaciones, así como la contratación y supervisión de los trabajos de campo estuvieron a cargo de la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT.

2. CONDICIONES DE LA CLASIFICACIÓN VEHICULAR QUE CIRCULA EN LA RCF

Para el EECAN 2013 se instalaron dieciocho estaciones a lo largo de la RCF, abarcando algunas carreteras de los estados de Aguascalientes, Campeche, Distrito Federal, Guerrero, Michoacán, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí y Yucatán. El número total de vehículos registrados fue de 856 419, distribuidos de la siguiente manera: 52,5% automóviles, 23,1% carga, 18,7% utilitarios y 5,6% autobuses. La composición vehicular es variable en la RCF, generalmente la proporción de automóviles es mayor, pero la presencia de utilitarios, autobuses o vehículos de carga (o alguna configuración particular de éstos) es diferente. Podría pensarse que la frecuencia o severidad de accidentes estén influenciadas por la mayor presencia de vehículos de carga puesto que son más largos, pesados, lentos y difíciles de rebasar. En la Tabla 1 se muestra la distribución en las 18 estaciones estudiadas.

Tabla 1 – Distribución vehicular EECAN 2013 por estación

Estación	Distribución vehicular (% del total)						
	Autos	Utilitarios	Autobuses	Camiones Unitarios	Tracto camiones Articulados		Otros
					Simples	Dobles	
PC Tepoztlán La Pera-Cuautla	64,4	19,8	5,4	4,1	3,7	2,0	0,5
PC Feliciano Nueva Italia-Lázaro Cárdenas	36,4	22,2	5,2	10,6	14,3	11,2	0,1
Joluta Zihuatanejo-La Mira	51,4	30,2	4,2	9,5	4,0	0,7	0,0
Montecillos Ciudad Valles-Ciudad Victoria	43,6	33,9	11,2	7,1	3,0	1,2	0,0
Santo Domingo Ciudad Valles-San Luis Potosí	45,5	31,1	5,3	11,0	6,8	0,2	0,0
San Juan Bosco Carapan-Playa Azul	35,7	45,0	1,3	17,0	0,9	0,1	0,0

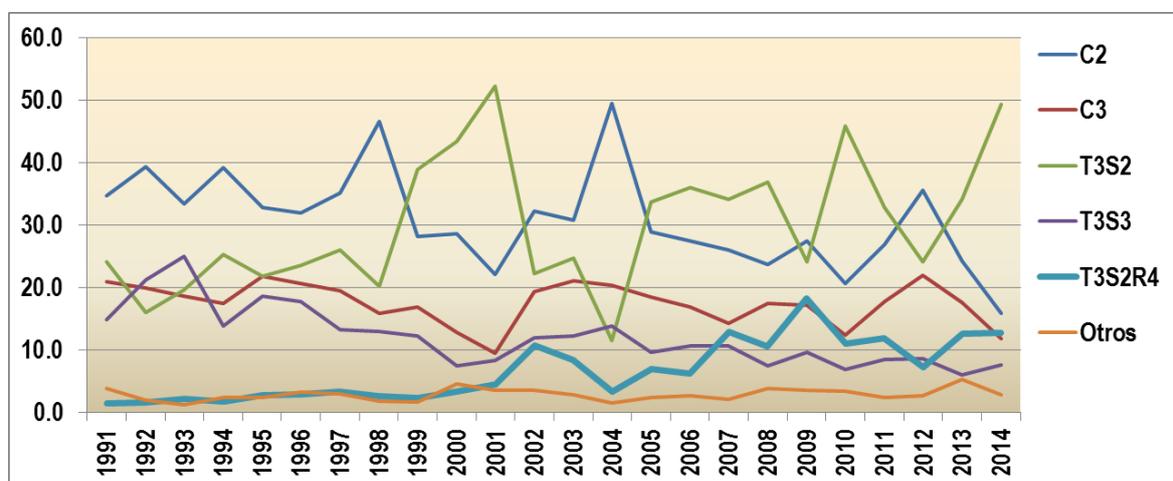
Fuente: Elaboración propia

Tabla 1 – Distribución vehicular EECAN 2013 por estación (continuación)

Estación	Distribución vehicular (% del total)						Otros
	Autos	Utilitarios	Autobuses	Camiones Unitarios	Tracto camiones Articulados		
					Simples	Dobles	
Puerta de Palmillas Portezuelo-Palmillas	38,0	28,9	1,4	13,8	14,3	3,7	0,0
Autódromo Aguascalientes Ojuelos-Aguascalientes	46,6	33,7	3,6	9,3	6,0	0,8	0,1
PC Tlalpan México-Cuernavaca	79,4	6,0	4,8	4,3	3,8	1,7	0,0
PC Palmillas México-Querétaro	39,3	11,6	5,9	12,7	24,5	6,0	0,0
San Sebastian Toluca-Palmillas	43,1	27,5	3,5	14,9	10,2	0,7	0,1
PC San Martín Texmelucan México-Puebla	50,3	16,8	7,6	10,1	10,8	4,3	0,0
Amozoc Puebla-Tehuacán	52,7	28,0	5,1	10,0	3,9	0,3	0,0
PC Amozoc Puebla-Acatzingo	45,5	23,2	7,1	11,1	8,3	4,5	0,3
PC Chichén Itzá Kantunil-Cancún	59,5	14,6	6,8	4,6	5,9	8,6	0,0
Kaua Mérida-Puerto Juárez	58,3	20,1	5,1	14,5	1,7	0,3	0,0
PC Seybaplaya Champotón-Campeche	43,2	20,9	4,1	10,5	12,4	8,8	0,1
Seybaplaya Ciudad del Carmen-Campeche	53,5	33,9	3,0	7,9	1,4	0,3	0,0
Todas 2013	52,5	18,7	5,6	9,7	10,0	3,4	0,1

Fuente: Elaboración propia

También la composición vehicular es variable en el tiempo, por ejemplo, la configuración más larga y pesada permitida por el reglamento, la T3S2R4 conocida como “full”, en 1991 representaba el 1.5% del total de vehículos de carga, para 2009 fue el 18,3%. En la Figura 2 se muestra la evolución anual de la composición de los vehículos de carga más comunes.



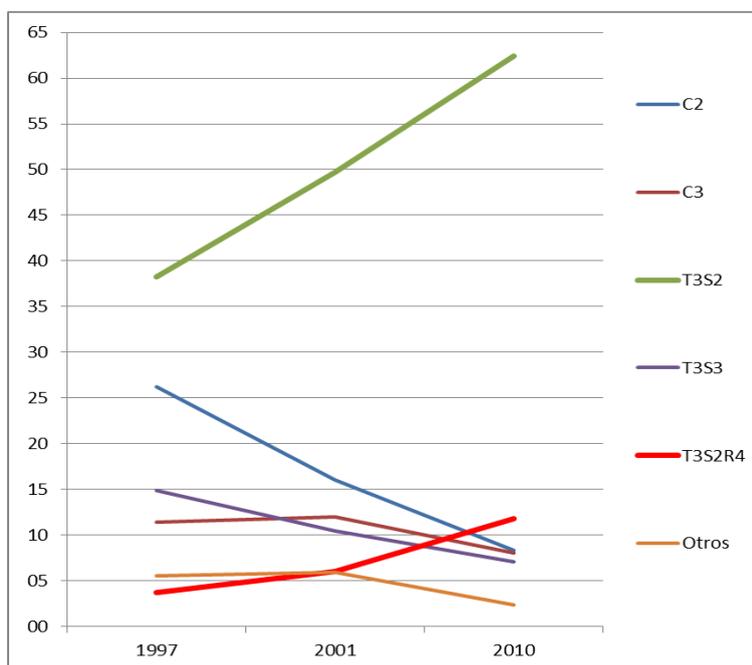
Fuente: Elaboración propia

Figura 2 – Evolución de la composición vehicular

A manera de ejemplo, consideremos los cambios registrados en la configuración vehicular para dos carreteras específicas: en primer lugar tenemos la carretera Sonoita-Mexicali, la cual se ha investigado en cuatro años diferentes, en la Tabla 2 mostramos la distribución registrada para esos años y en la Figura 3 observamos los cambios en la configuración vehicular.

Tabla 2 – Estudios en la carretera Sonoita-Mexicali

N°	Estación	Km	Fecha			Aforo (4 días)
	Nombre		Días	Mes	Año	
95	Ejido Monterrey	23+000	04-07	Noviembre	1997	6441
129	Las Adelitas	187+000	07-10	Octubre	2001	4331
135	Ejido Monterrey II	226+000	18-21	Septiembre	2001	5051
254	Fitosanitaria II	176+600	29-02	Junio-julio	2010	5173



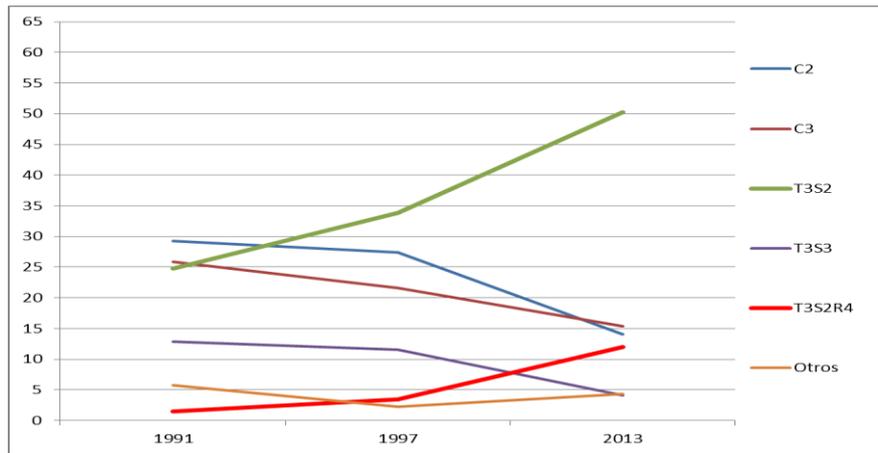
Fuente: Elaboración propia

Figura 3 – Sonoita-Mexicali, cambios en la configuración vehicular

En segundo lugar, consideremos la carretera México-Querétaro, la cual se ha investigado en tres años diferentes, en la Tabla 3 mostramos la distribución registrada en ellos y en la Figura 4 observamos los cambios en la configuración vehicular.

Tabla 3 – Estudios en la carretera México-Querétaro

N°	Estación	Km	Fecha			Aforo (4 días)
	Nombre		Días	Mes	Año	
5	Tepotztlán	43+010	04-07	junio	1991	25 728
98	Tepotztlán	44+500	25-28	noviembre	1997	49 045
312	PC Palmillas	147+800	30-02	julio	2013	59 829



Fuente: Elaboración propia

Figura 4 – México-Querétaro, cambios en la configuración vehicular

Para analizar cómo las características del vehículo o vehículos involucrados en una colisión contribuyen al momento de realizar la reconstrucción de un accidente, revisaremos algunos aspectos importantes de cada uno de los tipos de vehículos (de carga, autobuses y automóviles) que interactúan en la RCF, tales como clasificación vehicular de cada tipo, edad promedio, distancias de recorrido entre los principales pares origen-destino (OD), condiciones de viaje de los de carga (vacíos, cargados y excedidos). A continuación se describirán algunas de las características más relevantes para cada tipo de vehículo, esperando con ello entender cómo el factor vehículo interviene en una colisión y cómo sus dispositivos de seguridad pudieron repercutir en la severidad del mismo antes, durante y después del impacto.

2.1. Análisis estadístico de la información recopilada para vehículos de carga

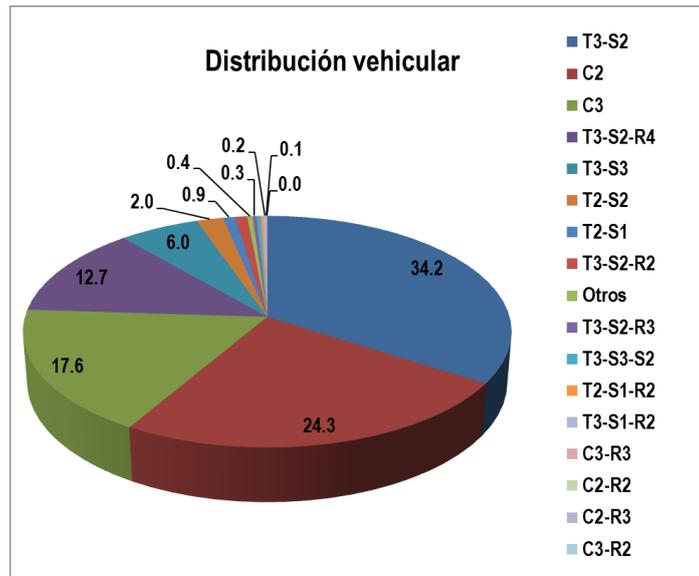
De acuerdo al EECAN: Análisis estadístico de la información recopilada en las estaciones instaladas en 2013 [4], el total de vehículos de carga encuestados en ese año fue de 198 003, éstos se clasificaron en dieciséis tipos de acuerdo con su configuración, como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4 – Configuraciones vehiculares

Unitarios	Articulados	Doblemente articulados
C2	C2-R2	T2-S1-R2
C3	C2-R3	T3-S1-R2
	C3-R2	T3-S2-R2
	C3-R3	T3-S2-R3
	T2-S1	T3-S3-S2
	T2-S2	T3-S2-R4
	T3-S2	
	T3-S3	

En caso de que alguna configuración no corresponde con uno de los dieciséis tipos se clasifica y registra como “otros”, por ejemplo, los C4, T2-S3 y los utilizados en el transporte de autos nuevos (T3-S2-S2, T3-R2 y T3-R3).

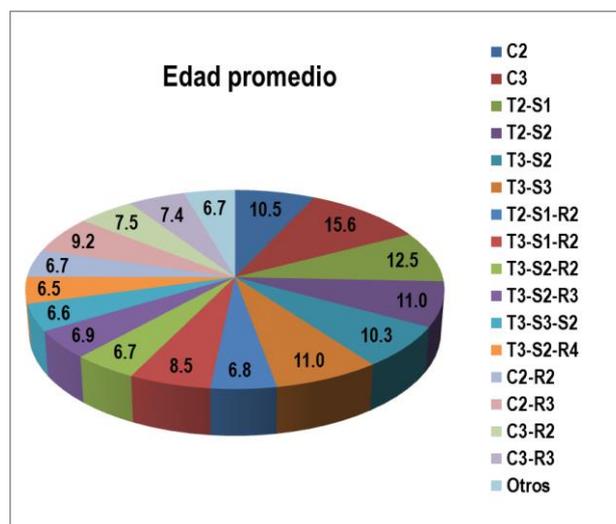
En la Figura 5 se muestra la distribución porcentual vehicular obtenida en 2013. Se observa que los vehículos que tuvieron mayor proporción fueron: T3-S2 (34,2%); C2 (24,3%); C3 (17,6%); T3-S2-R4 (12,7%); y T3-S3 (6,0%). En conjunto, estos cinco tipos de vehículos representan el 94,8% del total encuestado en ese año.



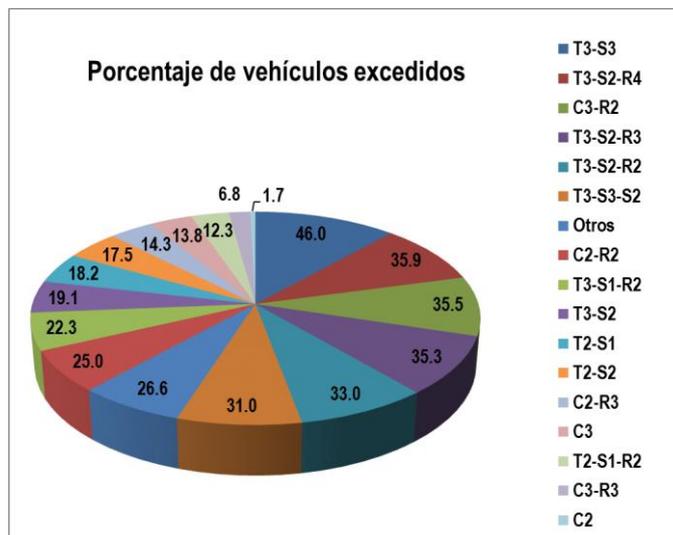
Fuente: Elaboración propia

Figura 5 – Distribución vehicular registrada en las estaciones instaladas en 2013

Por otro lado, tenemos que la edad promedio en general para todas las configuraciones vehiculares fue de 10,8 años, mientras que la edad promedio por tipo de vehículo fue de 15,6 años para los C3; 12,5 para los T2-S1; 11,0 para los T3-S2 y T3-S3; y 10,5 para los C2. En la Figura 6 se puede observar para cada tipo de configuración vehicular su edad promedio de acuerdo con lo reportado en el EECAN 2013, en el cual también se menciona que para toda la muestra (el total de los vehículos registrados en las diversas estaciones), el 33% corresponde a unidades recientes; 27% a aquellas en vías de obsolescencia y el 40% a viejos; asimismo, se observó que las clasificaciones vehiculares C2, C3, T3-S2 y T3-S3 fueron las que presentaron una mayor proporción de unidades tractivas que corresponden a vehículos calificados como "viejos".



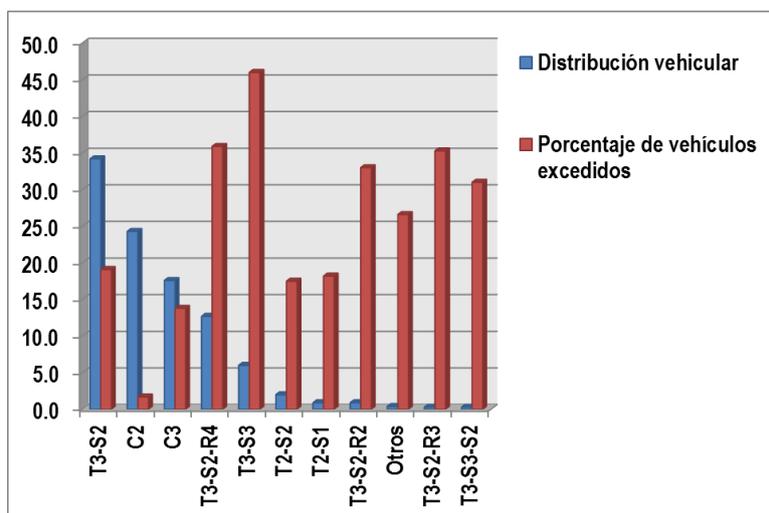
porcentaje de vehículos excedidos de acuerdo a su configuración, teniendo que el 1,7% corresponde a los C2 (valor mínimo); el 13,8% para los C3; 19,1% para los T3-S2; 46,0% para los T3-S3 (valor máximo); y 35,9% para los T3-S2-R4.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7 – Porcentaje de vehículos excedidos en peso bruto vehicular, 2013

Para finalizar esta sección, es importante destacar que de acuerdo a la Figura 8, podemos concluir que es la configuración vehicular T3-S3 la que presenta un mayor problema, pues aunque su participación es apenas del 6,0% del total de los vehículos registrados en 2013, casi la mitad de éstos tienen problemas con el exceso de peso bruto vehicular, la misma situación ocurre para los T3-S2-R3. Cabe destacar que los vehículos tipo C2 son los que mejor se comportan, pues a pesar de tener una alta participación vehicular, son los que presentan menores problemas de exceso de peso bruto vehicular.

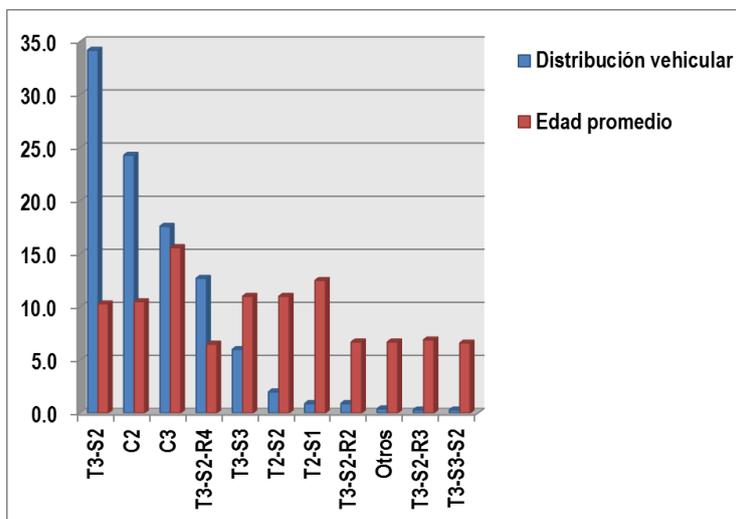


Fuente: Elaboración propia

Figura 8 – Participación vehicular con problemas de exceso de peso bruto vehicular

Por otra parte, en la Figura 9 podemos observar cuáles configuraciones presentan la mayor problemática respecto a su edad promedio, en este sentido, resulta evidente destacar que por un lado las configuraciones C3 y T3-S3 presentan una alta participación vehicular, sin embargo también registran edades promedio que rebasan los 10 años de antigüedad, siendo precisamente los C3 quienes registran el más alto promedio de edad

en 2013. Por otro lado, son las configuraciones T2-S1 y T2-S2 las que a pesar de tener poca participación vehicular, cuentan con equipos que rebasan la edad promedio del total de vehículos registrados en 2013, es por ello que el EECAN 2013, los considera como configuraciones vehiculares “viejas”.



Fuente: Elaboración propia

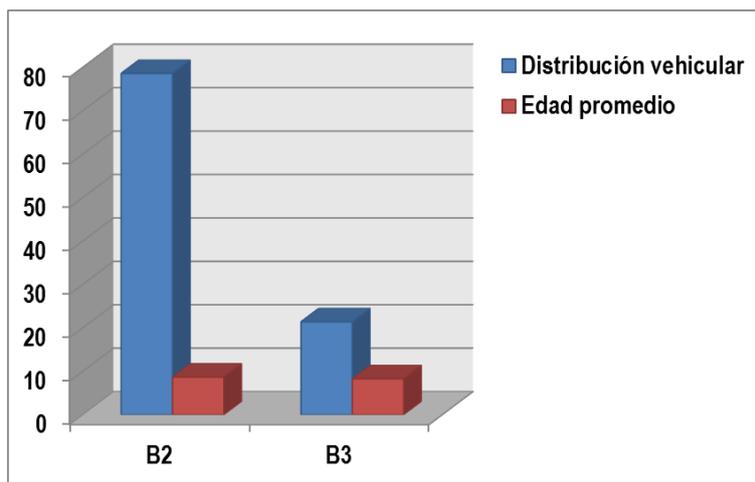
Figura 9 – Edad promedio por configuración vehicular registrada en 2013

2.2. Análisis estadístico de la información recopilada para autobuses

De acuerdo al EECAN: Análisis estadístico de la información recopilada para autobuses, en las estaciones instaladas en el 2013 [5], el total de vehículos encuestados fue 48 260, los cuales transportaron alrededor de 1 125 186 pasajeros distribuidos a lo largo de las 18 estaciones de encuesta instaladas. La configuración vehicular de autobuses se distribuyó en dos tipos: los B2 con una participación del 78,6% y los B3 con el 21,4%. Cabe señalar que este año no se registraron autobuses tipo B4.

En lo relativo a la edad promedio del total de las unidades en 2013 fue de 8,6 años, mientras que para las configuraciones B2 y B3 fue de 8,7 y 8,3 años respectivamente. De manera general, se reportó en el EECAN que el 38% corresponde a autobuses de 0 a 5 años; el 24% de 5 a 10; y el 38% a mayores de 10, teniendo que en general, los B3 tienen mayor proporción de unidades recientes que los B2.

Por último, el EECAN autobuses 2013 menciona que para el 96% de los viajes realizados por los autobuses (46 430 viajes) se les asignó la distancia entre las poblaciones de origen y destino, arrojando que la distancia media de recorrido para el total de vehículos fue de 313 km, mientras que por tipo de configuración se obtuvo una distancia media de recorrido de 267 km para los B2 y 478 km para los B3.



Fuente: Elaboración propia

Figura 10 – Distribución vehicular y edad promedio para las configuraciones B2 y B3

Ahora bien, resumiendo lo dicho anteriormente y de acuerdo con la Figura 10, tenemos que es la configuración vehicular B2 la que presenta un alto porcentaje de participación en el servicio de transporte de pasajeros, y es también la que presenta el mayor promedio de edad para sus equipos, cabe señalar en este sentido que éstos están próximos a caer en el rubro de obsoletos, ya que están por cumplir los diez años de servicio. Por otro lado, a pesar de que en general los autobuses tipo B2 son quienes presentan en general una distancia media de recorrido menor, son también los que cuentan con las distancias medias de recorrido más altas para algunas estaciones, de acuerdo con lo reportado en el EECAN Autobuses 2013.

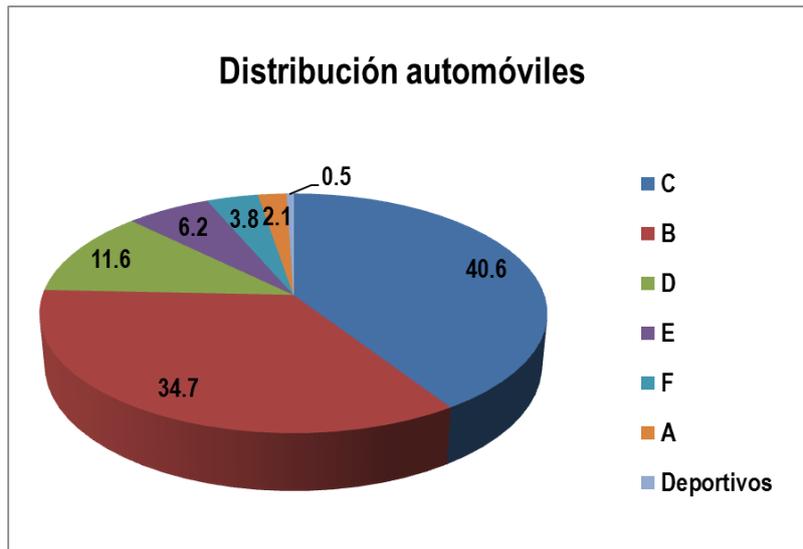
2.3. Análisis estadístico de la información recopilada para automóviles

De acuerdo al EECAN: Análisis estadístico de la información recopilada para automóviles, en las estaciones instaladas en el 2013 [6], el total de vehículos encuestados fue 449 971 y el número de ocupantes fue 1 102 350. La mayoría de los tipos de automóviles se clasificaron en segmentos que agrupan a los automóviles según su tamaño. En la Tabla 5 se presentan los segmentos y sus características. Cabe señalar que el EECAN automóviles 2013 usó la clasificación por segmento (A-F) y deportivos.

Tabla 5 - Clasificación de automóviles en segmentos de acuerdo a su tamaño

Segmento	Características
Micro coches	Dos plazas, de tamaño inferior al segmento A, de tamaño inferior a 3 300 mm
A pequeños	Cuatro plazas de tamaños más pequeño, actualmente entre 3 300 mm y 3 700 mm
B subcompactos	Tienen lugar para cuatro adultos y un niño; los hatchback y monovolúmenes rondan los 3 900 mm, mientras que los sedanes y familiares llegan a los 4 200 mm
C compactos	Son los más pequeños con cinco plazas completas. Se ubican en torno a los 4 200 mm en el caso de hatchbacks y 4 500 mm en el caso de sedanes y familiares
D medianos	También tienen cinco plazas pero tienen motores más potentes y maletero más grande. El tamaño es de aproximadamente 4 600 mm
E grandes	Son los modelos más grandes de las fábricas de automóviles generalistas. El tamaño promedio es de 4 800 mm
F de lujo	Comprenden sólo modelos de alta gama. Siempre superan los 5 000 mm

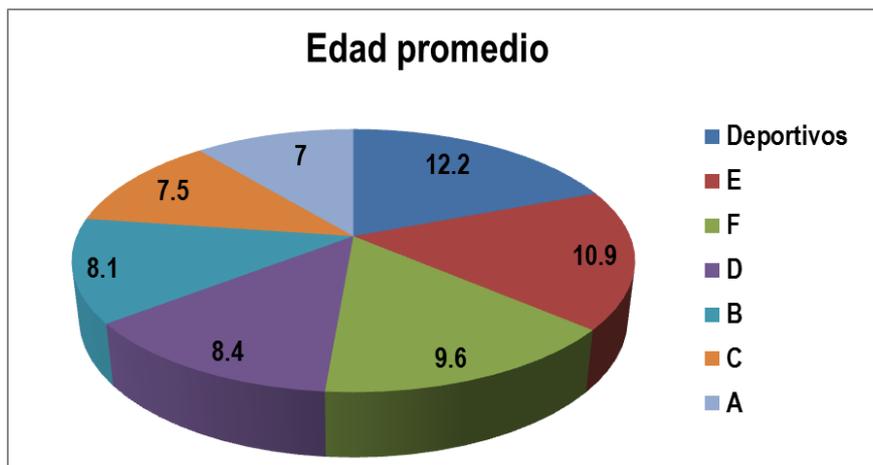
La Figura 11 muestra la distribución porcentual por segmento de automóvil y deportivos registrados en las carreteras investigadas en 2013.



Fuente: Elaboración propia

Figura 11 - Distribución porcentual de automóviles encuestados en el 2013

La edad promedio de automóviles en general fue 8,1 años, sin embargo en la Figura 12 podemos observar la edad promedio por segmento de automóvil y deportivos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 12 - Edad promedio de los automóviles encuestados en el 2013

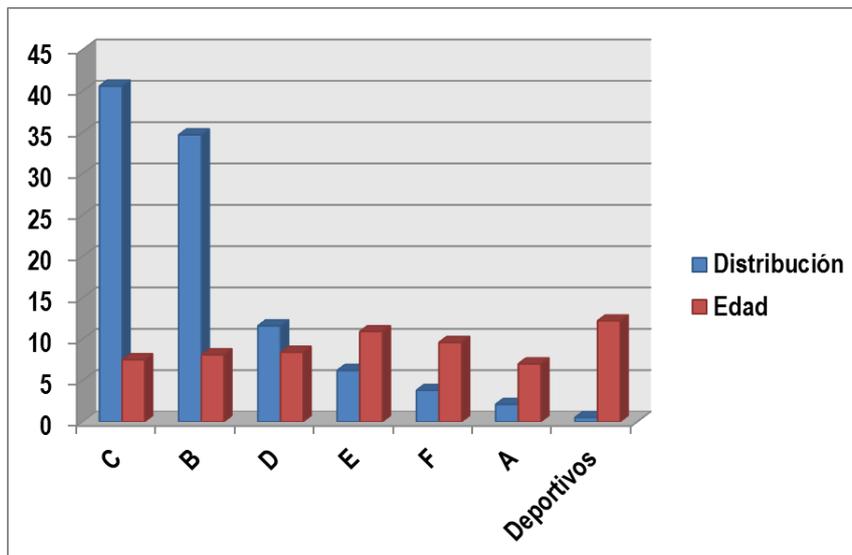
Por otro lado, el EECAN automóviles 2013 asignó al 90% de los viajes realizados por los automóviles (404 338 viajes) la distancia entre las poblaciones de origen y destino (O-D). La Figura 13 muestra la distancia media de recorrido por segmento de automóvil y deportivos, considerando que el promedio general fue de 213 km.



Fuente: Elaboración propia

Figura 13 - Distancias medias de recorrido para automóviles en el 2013

Para finalizar esta sección, en la Figura 14 podemos observar que los automóviles deportivos fueron los de mayor antigüedad y menor participación, mientras que los del segmento A fueron los más recientes, aunque también su participación fue baja; cabe señalar que los automóviles de los segmentos B y C fueron los que presentaron una mayor participación y una edad media baja. También, de acuerdo con el EECAN Automóviles 2013, se sabe que poco más del 51% de todos los automóviles tuvo entre cinco y diez años de edad. Por último, se reportó que el número de pasajeros promedio transportados fue de 1,4 para los de los segmentos A, B, C y deportivos; 1,5 los D y 1,7 los E y F.



Fuente: Elaboración propia

Figura 14 - Distribución vehicular y edad promedio para todos los tipos de automóviles

2.4. Interacción vehicular en algunas carreteras susceptibles a accidentes viales

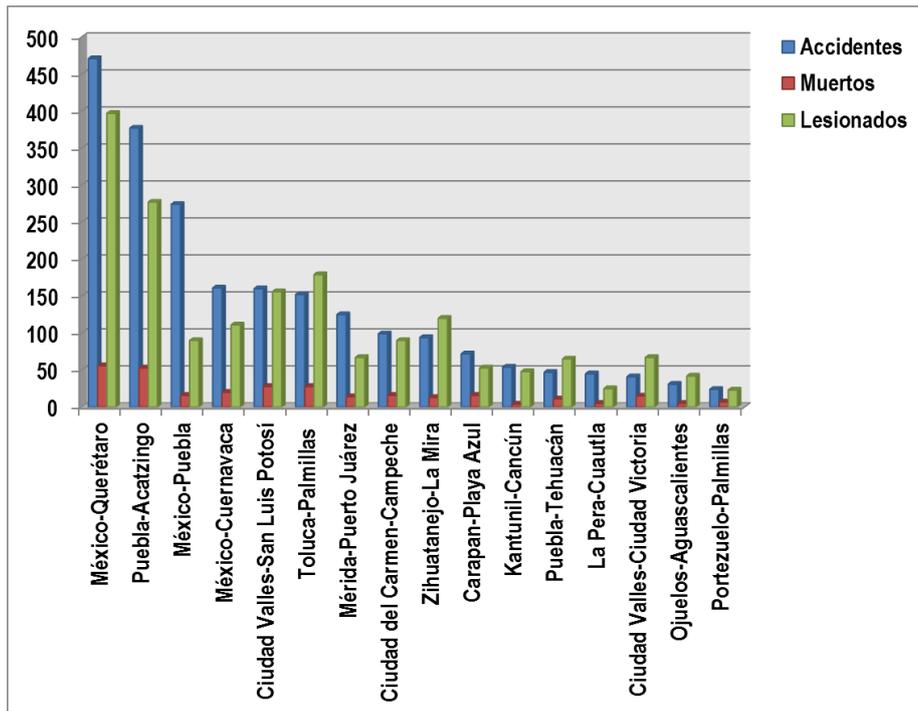
De las 18 estaciones de encuesta instaladas en 2013, los autores lograron ubicar en el AEACF 2013 [2] el saldo de las carreteras donde se ubicaron algunas estaciones, como puede observarse en la Tabla 6, únicamente para dos de ellas (Nueva Italia-Lázaro Cárdenas y Champotón-Campeche) no se encontró información, quizás debido a que en ese año no se reportaron accidentes o bien están incluidos en alguna otra carretera.

Tabla 6 – Saldos de accidentes en las carreteras de las 18 estaciones instaladas en 2013

Estación (carretera)	Tipo	Accidentes	Muertos	Lesionados	Jerarquización (accidentes/kilómetros)
PC Tepoztlán La Pera-Cuautla	Cuota	45	5	25	56
PC Feliciano Nueva Italia-Lázaro Cárdenas	Cuota	ND	ND	ND	ND
Joluta Zihuatanejo-La Mira	Libre	94	13	120	108
Montecillos Ciudad Valles-Ciudad Victoria	Libre	41	15	67	389
Santo Domingo Ciudad Valles-San Luis Potosí	Libre	160	28	156	150
San Juan Bosco Carapan-Playa Azul	Libre	72	16	53	366
Puerta de Palmillas Portezuelo-Palmillas	Libre	24	7	23	298
Autódromo Aguascalientes Ojuelos-Aguascalientes	Libre	31	5	42	237
PC Tlalpan México-Cuernavaca	Cuota	161	20	111	11
PC Palmillas México-Querétaro	Cuota	471	56	397	14
San Sebastian Toluca-Palmillas	Libre	152	28	179	65
PC San Martín Texmelucan México-Puebla	Cuota	274	16	90	15
Amozoc Puebla-Tehuacán	Libre	47	11	65	220
PC Amozoc Puebla-Acatzingo	Cuota	377	53	277	21
PC Chichén Itzá Kantunil-Cancún	Cuota	54	4	48	353
Kaua Mérida-Puerto Juárez	Libre	125	14	67	235
PC Seybaplaya Champotón-Campeche	Cuota	ND	ND	ND	ND
Seybaplaya Ciudad del Carmen-Campeche	Libre	99	16	90	187
Todas 2013		2227	307	1810	

Fuente: Elaboración propia con información del Anuario Estadístico de Accidentes 2013 [2].

Cabe señalar que la jerarquización dada en el AEACF 2013 se refiere al número de accidentes registrados por kilómetro a lo largo de la carretera, es decir que para el caso de las 16 estaciones en las cuales se encontró información, están indicando que son las carreteras México-Cuernavaca, México-Querétaro, México-Puebla y Puebla-Acatzingo las principales carreteras cuyo número de accidentes resultó ser mayor al número de kilómetros reportados. La Figura 15 ejemplifica de manera gráfica lo dicho anteriormente, ya que son precisamente estas cuatro carreteras las que destacan por su alto número de accidentes.



Fuente: Elaboración propia con información del Anuario Estadístico de Accidentes 2013 [2]

Figura 15 – Saldo de accidentes en las carreteras de las estaciones instaladas en 2013

Para finalizar, retomaremos los ejemplos propuestos en la sección 2.1 de las carreteras Sonoita-Mexicali y México-Querétaro, en las cuales se mostró que el incremento de algunas configuraciones vehiculares a lo largo del tiempo podría ser un factor importante en la ocurrencia de accidentes y que por lo tanto si se tiene información de las características vehiculares de éstos, podrían tomarse en cuenta al momento de realizar la investigación y reconstrucción del accidente. Así, de acuerdo a lo visto en esta sección, tenemos que precisamente la carretera México-Querétaro fue la que presentó el mayor número de accidentes registrados en 2013, lamentablemente el número de muertos y heridos también resultaron ser muy altos. Por otro lado, tenemos que la carretera Sonoita-Mexicali reportó en 2013, 34 accidentes con un saldo de 1 muerto y 18 heridos (su jerarquización fue estimada como la 138 de 528 carreteras estudiadas en el AEACF 2013); por lo tanto, se concluye que a pesar de no haber sido de las carreteras que registraran un mayor número de accidentes por kilómetro recorrido, si ocupa un lugar importante que merece ser tomado en cuenta para aplicar la medidas de seguridad necesarias para prevenir y reducir el número de accidentes.

3. CONCLUSIONES

La interacción de distintas configuraciones vehiculares implican un estudio más a fondo acerca de las posibles causas de la colisión, es por ello que se desea hacer énfasis en que una vez ocurrido el accidente, antes de emitir la causa final de éste, se deben considerar todos los factores que pudieron intervenir en la ocurrencia del mismo. Particularmente en el caso del factor vehículo se recomienda tener en cuenta los registros e información de los tipos de accidentes ocurridos en la vía de estudio, así como las características de los vehículos que circulan por ella.

A través de los ejemplos presentados, los autores han querido ejemplificar cómo la distribución vehicular es variable en el tiempo y el espacio, por lo que consideran que sería conveniente documentarse cómo se comporta ésta, es decir, que si por una lado

consideramos el caso de la configuración vehicular T3S2, observamos que ésta resultó estar colocada en el cuarto lugar de los participantes en accidentes viales según el AEACF 2013 con un 7,4% del cual en el 5,3% resultó ser responsable de la colisión y en el 2,1% resultó estar involucrado, asimismo, de acuerdo al EECAN caraga 2013, éste no presentó un alto porcentaje de vehículos excedidos en peso bruto vehicular (19,1%), sin embargo si presenta una edad promedio alta de sus equipos de 10,3 años, lo que le hace propenso a caer en la categoría de vehículos obsoletos, por lo que se recomienda realizar inspecciones físico-mecánicas constantes. Ahora bien, por otro lado, si consideramos el caso de la configuración vehicular T3S2R4, tenemos que de acuerdo con el AEACF 2013 su participación en accidentes es de apenas del 2,0% de los cuales, en el 0,8% resultó ser el responsable, mientras que en el 1,2% resultó estar involucrado en alguna colisión (contrario a lo que sucede con los T3S2), sin embargo, su porcentaje de vehículos excedidos en peso bruto vehicular es muy alto, alcanzando casi el 36% (sólo debajo de los T3-S3 que ocupan el primer lugar) del total reportado en el EECAN carga 2013, no así su edad promedio, que registró un 6,5 años. Por tanto, a pesar de que el comportamiento de estos dos tipos de configuraciones (T3S2 y T3S2R4) resulta ser contrario, se observa que tienen una característica común y es su aumento en la participación de la composición del tránsito pesado, particularmente para las carreteras México-Querétaro y Sonoita-Mexicali, asimismo, se detectó que la carretera México-Querétaro es la que presenta un mayor número de accidentes, muertos y heridos, por lo que se recomienda analizar la posible influencia del crecimiento de estas configuraciones en los accidentes viales registrados

Ahora bien, a pesar de que la participación de autobuses en accidentes ocurridos en la RCF no haya arrojado cifras demasiado significativas, eso no implica que no deban tenerse algunas consideraciones necesarias, pues recordemos que de acuerdo al EECAN Autobuses 2013, la edad promedio en general para este tipo de vehículos fue 8, 6 años, lo que significa que en dos años más estas unidades pasaran a formar parte de los vehículos considerados como obsoletos para el uso requerido y que por ende la revisión físico-mecánica tendrá que ser necesaria.

Finalmente, en el caso de los automóviles hemos visto que éstos son los principales usuarios de motor cuya participación en accidentes viales de la RCF presenta un alto índice de involucramiento (casi el 50%), tanto a nivel de responsabilidad como de involucramiento. También hemos visto que en general la mayor parte de automóviles que circulan por la RCF son del tipo o segmento C, es decir, aquellos que de acuerdo a su tamaño son catalogados como vehículos compactos, destacan también la participación de los tipo B y D (subcompactos y medianos, respectivamente). La edad promedio de los automóviles tipo C y B fue de las más bajas, no así para los vehículos deportivos, quienes reportaron el promedio más alto en cuanto a edad vehicular (12,2 años), lo cual aunado a los límites de velocidad alcanzados por este tipo de vehículos, los hacen un posible factor de riesgo para la ocurrencia de accidentes. Por último, debido a que en general, la edad promedio para todos los automóviles encuestado en la estaciones 2013 fue de 8,1 años, se sugiere tener en cuenta durante la investigación de accidentes si las condiciones físico-mecánicas, así como los dispositivos de seguridad funcionaban de manera adecuada antes y durante la colisión.

Por lo tanto, los autores se plantean la posibilidad de realizar investigaciones más a fondo para poder establecer si existe una correlación entre el incremento de algún tipo de vehículo en particular y su influencia en la incidencia de accidentes viales, así como la influencia de sus condiciones físico-mecánicas y dispositivos de seguridad vial, de manera

que brinden elementos de análisis al investigador o perito que realiza una investigación y reconstrucción de accidentes.

RECONOCIMIENTOS

Esta investigación fue financiada con fondos de la Red Temática de Accidentes Viales (Número 253411), como parte del programa de Redes Temáticas 2015 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT).

REFERENCIAS

1. Chavarría, V. J. (2015). Lineamientos Generales para establecer una Política Institucional sobre Investigación de Accidentes de Tránsito en Carreteras Federales. Publicación Técnica 434. Instituto Mexicano del Transporte.
2. Cuevas, A. C., Pérez, J. G., Mayoral, E. F., Mendoza, A. (2015). Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales 2013. Documento Técnico 61. Instituto Mexicano del Transporte.
3. Toledo, F., Mera, A., García, J., Hidalgo, S. (2013). Manual de Investigación y Reconstrucción de Accidentes de Tráfico. Universidad de Valencia. INFORSE.
4. Gutiérrez, J. L., Soria V. J. (2014). Estudio Estadístico de Campo del Autotransporte Nacional. Análisis estadístico de la información recopilada en las estaciones instaladas en 2013. Documento Técnico 58. Instituto Mexicano del Transporte.
5. Gutiérrez, J. L., Soria V. J. (2014). Estudio Estadístico de Campo del Autotransporte Nacional. Análisis estadístico de la información recopilada para autobuses, en las estaciones instaladas en el 2013. Documento Técnico 59. Instituto Mexicano del Transporte.
6. Gutiérrez, J. L., Soria V. J. (2015). Estudio Estadístico de Campo del Autotransporte Nacional. Análisis estadístico de la información recopilada para automóviles, en las estaciones instaladas en el 2013. Documento Técnico 60. Instituto Mexicano del Transporte.
7. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1994). Reglamento sobre el Peso, Dimensiones y Capacidad de los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal. Último aviso por el que se modifica la clasificación de las carreteras en el Diario Oficial de la Federación 12/06/2015. Gobierno Federal.

CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE RED VIAL GEORREFERENCIADO PARA LA GESTIÓN DE INFORMACIÓN DE ACCIDENTES VIALES

N. VILLEGAS, A. MENDOZA

Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte, Instituto Mexicano del Transporte
villegas@imt.mx, mendoza@imt.mx

RESUMEN

La construcción de un modelo de red vial georreferenciado es un insumo requerido para estudios de modelación de redes de transporte, así como también para la representatividad de los datos de accidentes viales. La construcción del modelo con carreteras segmentadas cada 500 metros y la vinculación de sus características físicas y geométricas requieren de la aplicación de métodos y procedimientos que simplifiquen las actividades para su realización. Lo anterior, debido a la existencia de Bases de Datos con información de tránsito vehicular, mediciones del índice internacional de rugosidad (IRI, por sus siglas en inglés), accidentes viales, velocidades de punto, etc. las cuales generalmente contienen una gran cantidad de registros y cuyo contenido cambia año con año. Por tanto, este trabajo muestra los procedimientos de segmentación dinámica y algoritmos de programación que coadyuvan para construir un modelo de red vial útil para estudios de modelación de redes de transporte, generación de estadísticas de accidentalidad por segmento, tramo y carretera, así como para la representatividad de los datos de accidentes viales.

1. DIVISIÓN Y CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS CONSIDERANDO LOS PRINCIPALES TRAMOS CARRETEROS QUE LAS INTEGRAN

La información georreferenciada de la Red Carretera Federal (RCF) utilizada para dividir y clasificar carreteras, fue obtenida a partir de coordenadas geográficas registradas por el Programa Internacional de Evaluación de Carreteras (IRAP, por sus siglas en inglés), como parte del proyecto iRAP-Mexico. Específicamente, las carreteras seleccionadas en la RCF para llevar a cabo este trabajo forman parte del corredor longitudinal México-Nuevo Laredo en México.

El software comercial para Sistemas de Información Geográfica (SIG) usado para procesar los datos fue ArcMap 10, desarrollado por el Instituto de Investigación de Sistemas Ambientales (ESRI, por sus siglas en inglés). A continuación se muestra paso a paso el proceso realizado con la información.

1.1. División de carreteras

Como primer paso, las carreteras fueron divididas y clasificadas considerando los principales tramos carreteros que las integran, así como también la clasificación oficial de carreteras de la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST). Esto facilita, en una etapa posterior, la aplicación de segmentación dinámica en la RCF y la asignación de atributos, tales como el aforo vehicular, el cual es asignado al tramo carretero de acuerdo con la ubicación de la estación de aforo.

Iniciar con un catálogo de tramos carreteros es de mucha utilidad para llevar a cabo la división manual de las carreteras, principalmente si pretendemos obtener estadísticas por entidad federativa, por carretera, tramo o segmento de determinada longitud. La Tabla 1 muestra un ejemplo de la información básica incluida en el catálogo de tramos:

identificador del tramo carretero (id_unico); número de la entidad federativa (entidad); identificador de la carretera (idcarr); número consecutivo del tramo (id_tramo); nombre origen-destino del tramo (nombre_tramo); y kilómetro inicial (kmi) y final (kmf) del tramo carretero.

Tabla 1 – Catálogo de tramos carreteros

Id_unico	Entidad	Idcarr	Id_tramo	Nombre_tramo	Kmi	Kmf
90041101	9	00411	01	México - Lim. Edos. D.F./Mex.	0	11.3
150041102	15	00411	02	Lim. Edos. D.F./Mex. - Caseta Tepotzotlán	11.3	43.2
150041103	15	00411	03	Caseta Tepotzotlán - Entronque Jorobas	43.2	56.2
191908601	19	19086	01	T. C. (Monterrey - Nuevo Laredo (Libre)) - T. Der. Agualeguas	24	79.5
191908602	19	19086	02	T. Der. Agualeguas - X. C. (Gral. Treviño - Villaldama)	79.5	99.5
191908603	19	19086	03	X. C. (Gral. Treviño - Villaldama) - T. Izq. Vallecillos	99.5	115.5

Tomando en cuenta lo que indica el catálogo de tramos carreteros, las líneas georreferenciadas de las carreteras fueron divididas manualmente. Para realizar los cortes de línea fue necesario ubicar exactamente el sitio donde inicia y termina cada tramo carretero. Durante este proceso, es importante verificar información georreferenciada de los Datos Viales de la DGST, los postes de kilómetro, las localidades, los límites estatales y las casetas de peaje.

1.2. Clasificación de tramos carreteros

Después de dividir la carretera, fue necesario clasificar cada tramo carretero, mediante la asignación del identificador id_unico. Este identificador está compuesto por uno o dos dígitos para la entidad federativa, cinco para la carretera y dos para el número consecutivo del tramo. En el caso de que el número de la carretera o del tramo contenga menos de cinco o dos dígitos respectivamente, es necesario preceder el identificador con los ceros faltantes, p. ej. la clave 100000601 corresponde a la entidad federativa 10, carretera 00006 y tramo 01. Mientras que la clave 60658503 corresponde a la entidad federativa 6, carretera 06585 y tramo 03.

Posteriormente, el proceso de segmentación dinámica en ArcMap asigna a cada segmento de 500 metros una nueva clave numerada, a partir de su correspondiente tramo carretero al cual pertenece.

En esta clasificación de tramos carreteros, es recomendable verificar que existe sólo una línea por cada tramo carretero o identificador id_unico. La herramienta de geoprocésamiento de ArcMap “Fusionar” ayuda a fusionar segmentos de línea en una sola línea. También es importante verificar la dirección correcta de la carretera, es decir, asignar a la línea la dirección en que crece el cadenamamiento en campo. La herramienta de geoprocésamiento “Invertir línea” facilita esta tarea.

La clasificación por tramos de carretera, en este caso, es la más adecuada, ya que cuando existe una pequeña diferencia entre la longitud de dos postes de kilómetro, comparando la distancia de los mismos en campo y la real en el software para SIG, esto no afecta la distancia entre el kilómetro inicial y final de los tramos posteriores.

La Figura 1 ilustra un ejemplo de algunos tramos carreteros con identificador (id_unico) clasificados manualmente, los cuales forman parte del corredor longitudinal México-Nuevo Laredo y que son segmentados en la siguiente etapa.

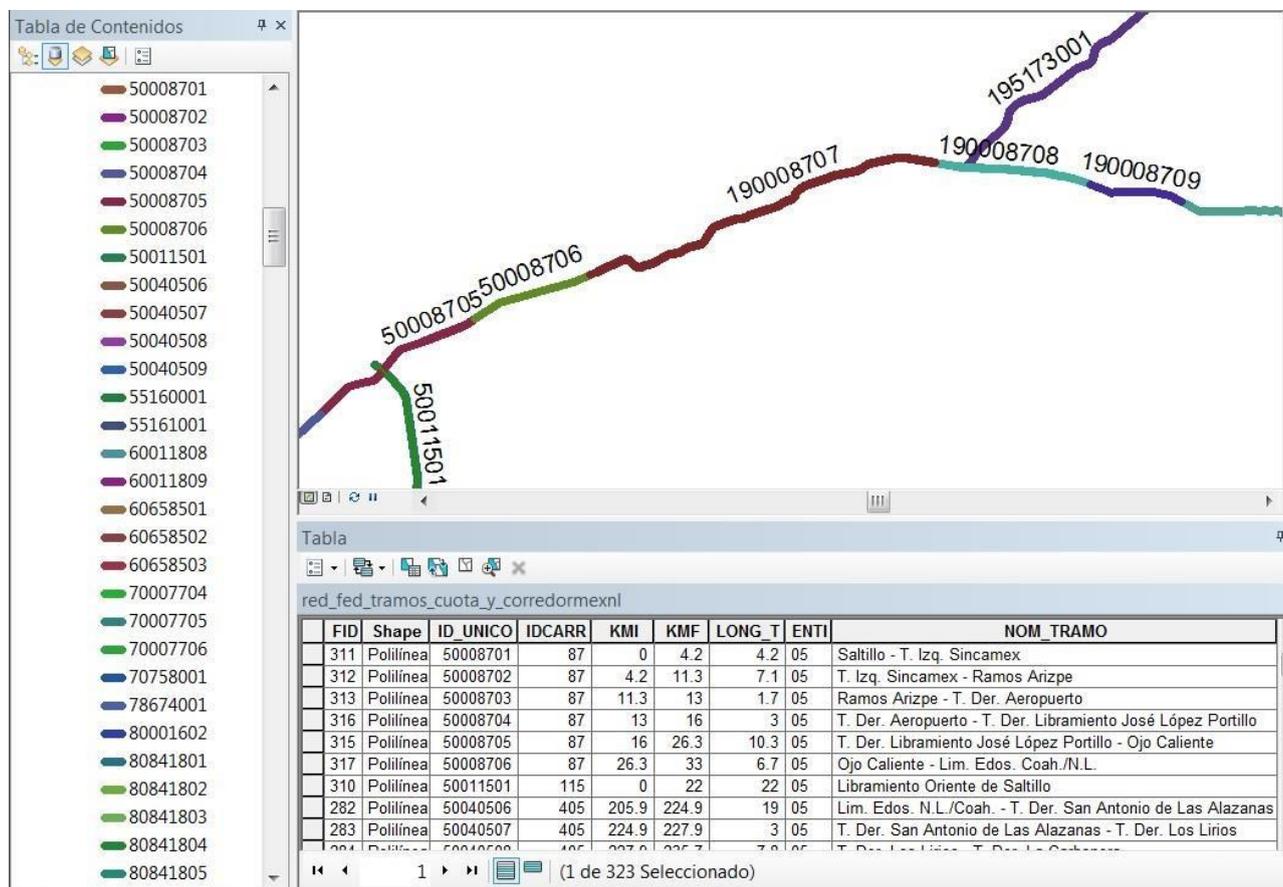


Figura 1 – Tramos carreteros con identificador (id_unico)

2. SEGMENTACIÓN DINÁMICA EN LOS TRAMOS CARRETEROS, USANDO ARCMAP

La segmentación dinámica es el proceso de calcular la ubicación en el mapa de los eventos almacenados en una tabla de eventos. La segmentación dinámica permite asociar varios conjuntos de atributos a cualquier parte de una entidad lineal [1].

La nueva versión del software ArcMap 10 y sus herramientas de referencia lineal facilitan la aplicación de segmentación dinámica, con el fin de generar los segmentos de 500 metros a partir de los tramos carreteros ya clasificados. Inicialmente algunos procedimientos fueron definidos en ArcInfo [2]. Para este trabajo, la migración de procedimientos de segmentación dinámica de la versión anterior ArcInfo a la versión actual ArcMap, consistió de tres etapas: creación de rutas, creación del archivo de eventos de línea y creación de la capa de eventos de ruta. Estas etapas están descritas a continuación.

2.1. Creación de rutas

Con la herramienta “crear rutas” generamos las rutas a partir de los tramos carreteros clasificados con id_unico. Como muestra la Figura 2, en el cuadro de diálogo es necesario agregar el nombre de las entidades de línea de entrada o tramos carreteros clasificados (archivo shape de líneas); el campo identificador de las rutas o tramos (id_unico); la clase

de entidad de rutas de salida; fuente de medición (two_fields); y el campo de medición inicial y final del tramo carretero (kmi y kmf).

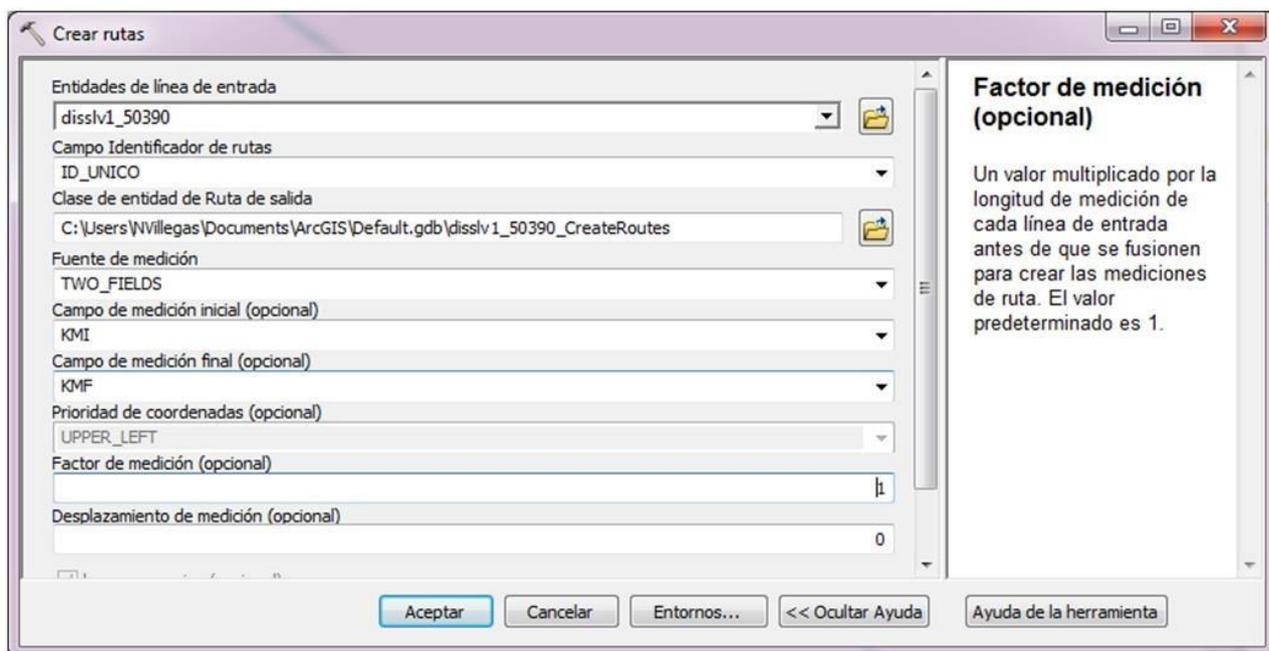


Figura 2 - Creación del sistema de rutas

2.2. Creación del archivo de eventos de línea

El archivo de eventos de línea contiene en cada registro información básica de todos los segmentos que integran cada carretera: identificador del tramo carretero (id_unico); identificador del segmento (id_seg); identificador de la carretera (idcarr); límite inferior del segmento (l_inf); límite superior del segmento (l_sup); kilómetro inicial (kmi); y kilómetro final (kmf) del segmento. El límite inferior del segmento está formado por el número de la carretera, tres dígitos para el cadenamiento inicial en número de kilómetro y tres dígitos para el número de metros. El límite superior del segmento está formado por el número de la carretera, tres dígitos para el cadenamiento final en número de kilómetro y tres dígitos para el número de metros.

El algoritmo de programación **crea_archivo_eventos.prg**, elaborado con el software Microsoft Visual FoxPro, crea el archivo de segmentos de 500 metros a partir del catálogo de tramos carreteros. En el algoritmo una variable almacena la longitud deseada de los segmentos, la cual puede cambiar de acuerdo con la longitud de segmentos seleccionada para el proceso. La Tabla 2 muestra sólo algunos registros del archivo de eventos de línea generado con el algoritmo.

Tabla 2 – Archivo de eventos de línea

Id_unico	Id_seg	Idcarr	L_inf	L_sup	Kmi	Kmf
150041103	150041103001	411	411043200	411043700	43.2	43.7
150041103	150041103002	411	411043700	411044200	43.7	44.2
150041103	150041103003	411	411044200	411044700	44.2	44.7
150041103	150041103004	411	411044700	411045200	44.7	45.2
150041103	150041103005	411	411045200	411045700	45.2	45.7
150041103	150041103006	411	411045700	411046200	45.7	46.2

2.3. Creación de la capa de eventos de ruta

La herramienta "crear capa de eventos de ruta", genera las carreteras segmentadas de acuerdo a lo que señala el archivo de eventos de línea. Como se muestra en el cuadro de diálogo de la Figura 3, es necesario agregar el nombre de las entidades de ruta de entrada, archivo de rutas generado en el punto 2.1; el campo identificador de rutas (id_unico); la tabla de eventos de entrada, archivo de eventos creado en el punto 2.2; el tipo de evento (line); y el campo de medida inicial y final, es decir, kilómetro inicial y final (kmi y kmf) del segmento.

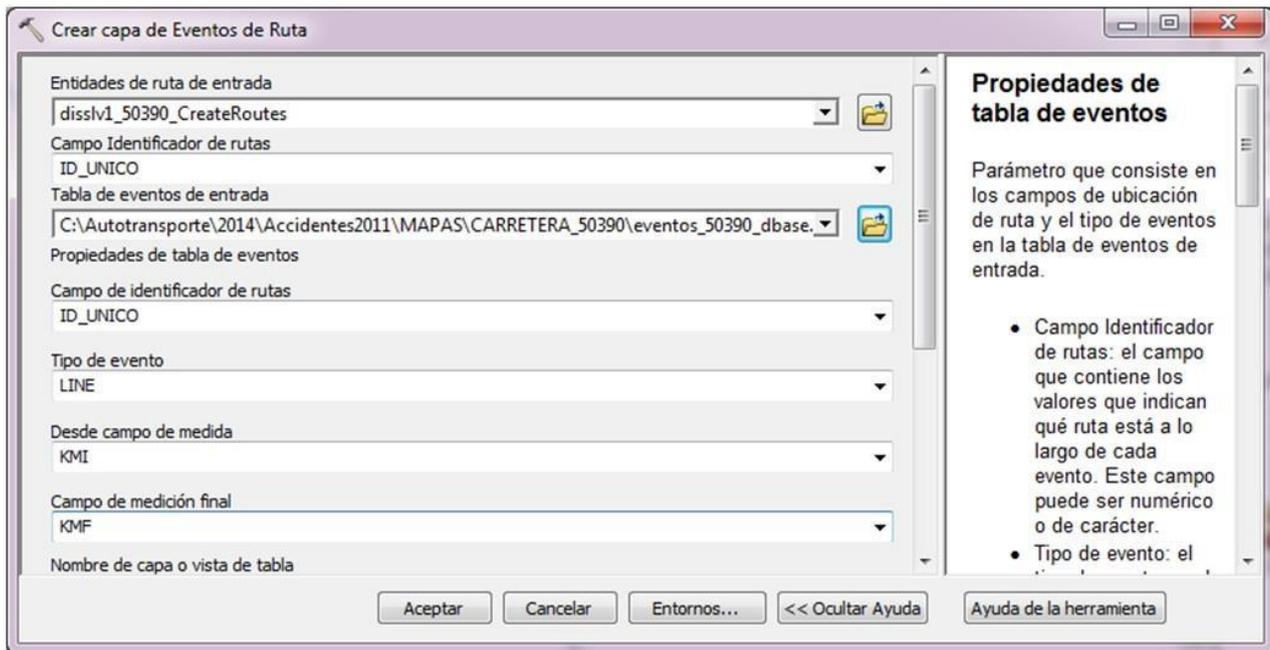


Figura 3 - Creación de la capa de eventos de ruta

Finalmente, la Figura 4 ilustra un ejemplo de las carreteras segmentadas a cada 500 metros con identificador id_seg, resultado de la aplicación de la herramienta que crea los eventos de ruta. Esta herramienta generó un segmento de 500 metros por cada registro contenido en el archivo de eventos de línea.

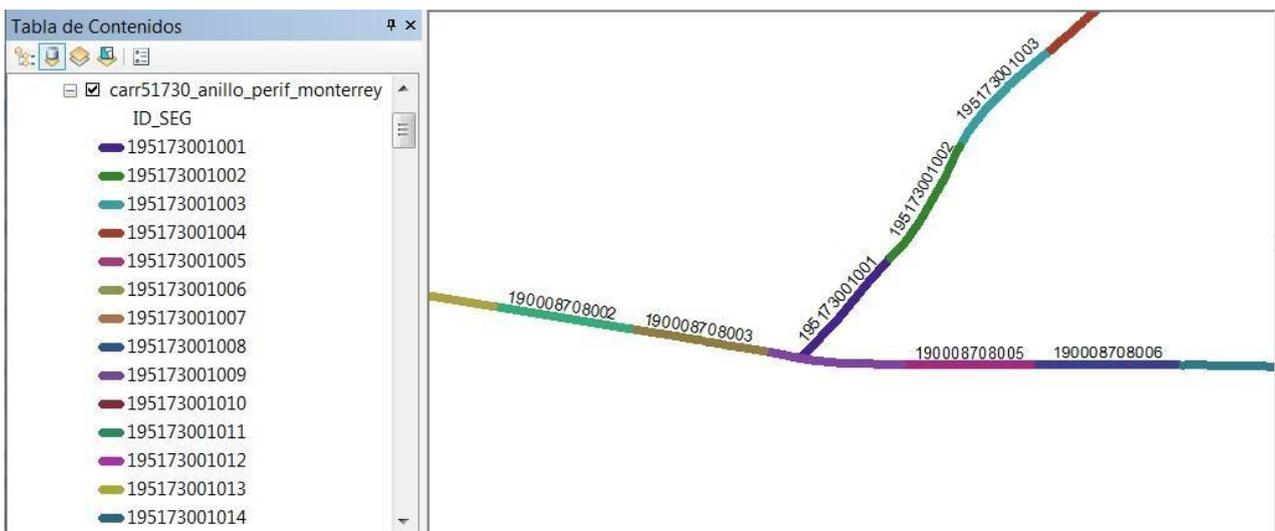


Figura 4 – Segmentos de 500 metros con identificador (id_seg)

3. ASIGNACIÓN DE ATRIBUTOS

Una vez que se cuenta con una RCF clasificada y segmentada, es posible asignar a cada segmento o tramo carretero sus atributos correspondientes, de dos formas:

- La primera, consiste en relacionar el identificador del segmento con las Bases de Datos que contienen índices de accidentes viales, tránsito vehicular, velocidades y mediciones del índice internacional de rugosidad (IRI, por sus siglas en inglés). En este caso, es necesario que las Bases de Datos contengan el identificador de la carretera (idcarr), así como el kilómetro correspondiente en cada registro. La Figura 5 muestra este proceso de vinculación de los datos.

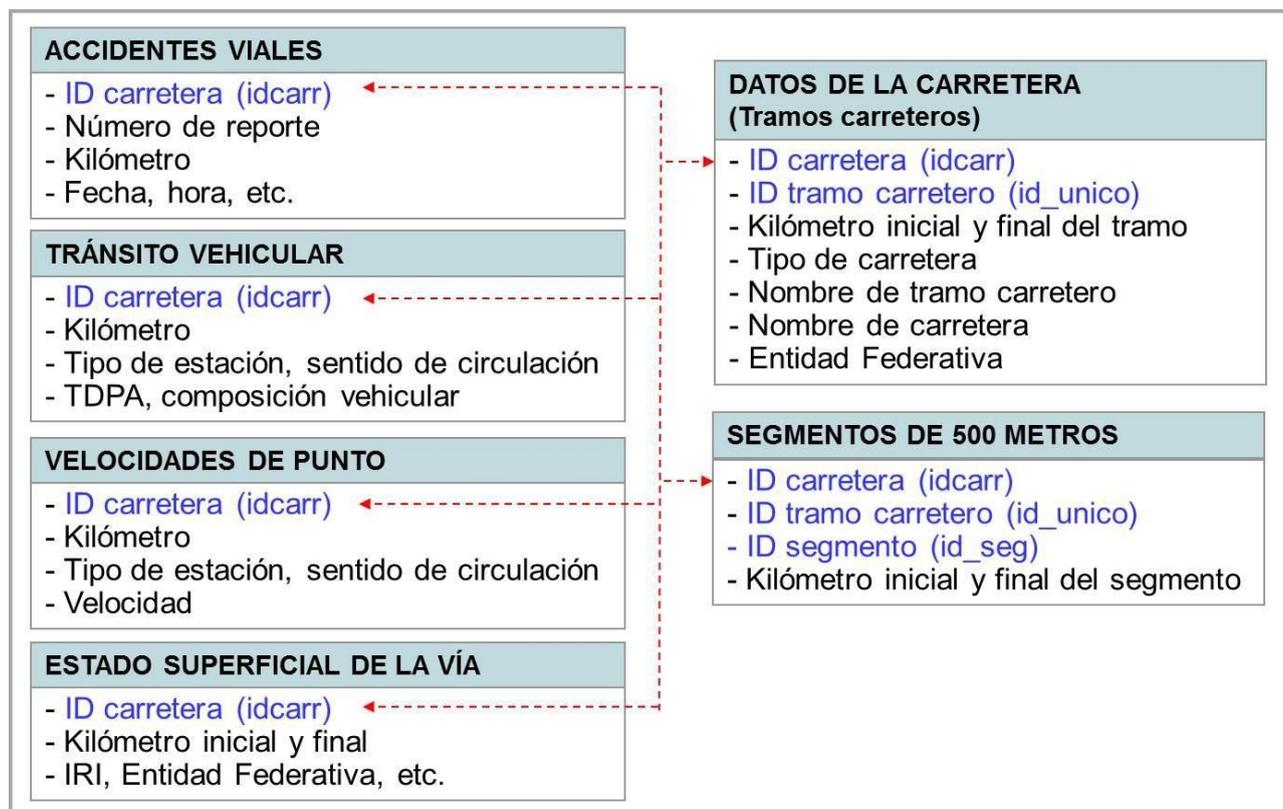


Figura 5 – Vinculación de la información

- La segunda forma de asignar atributos es mediante la herramienta de software para SIG, denominada “Unión espacial”, en la cual los atributos de otros elementos georreferenciados son asignados a los segmentos de 500 metros de acuerdo a la posición geográfica más cercana o bien, a una distancia establecida en el proceso de vinculación. En este caso, no es necesario contar con información relativa al identificador de la carretera o el cadenamiento de la misma.

A continuación se describe con más detalle el proceso de vinculación de índices de accidentes viales, tránsito vehicular, velocidades de punto y estado superficial de la vía con los segmentos y tramos carreteros.

3.1. Asignación de índices de accidentes viales a segmentos de 500 metros

La Policía Federal provee la Base de Datos conteniendo información de los reportes de los accidentes de tránsito registrados en la RCF. Primero, es necesario asignar un identificador de carretera (idcarr) a cada registro de accidente en la Base de Datos.

Después, considerando el *idcarr* y el kilómetro donde ocurrió el incidente, se asigna a la Base de Datos de accidentes de tránsito el identificador de segmento (*id_seg*) que le corresponde, del archivo de eventos de línea creado en el punto 2.2. Este proceso fue realizado con el algoritmo de programación **asigna_id_segmento.prg**.

Por último, fue elaborado un resumen de accidentes viales por segmento (*id_seg*) con el algoritmo de programación **resum_accid_porsegm500m.prg**. El resumen incluyó *idcarr*, kilómetro inicial y final del segmento, número de accidentes, muertos, lesionados, números de reportes de accidentes registrados en el segmento, así como el indicador Número de Accidentes Equivalente (NAE). Este último indicador fue obtenido con la operación:

$$accidentes + (muertos*6) + (lesionados*2) = NAE \quad (1)$$

La Tabla 3 muestra sólo algunos registros del archivo, con el resumen de accidentes viales por segmento.

Tabla 3 – Resumen de accidentes viales por segmento

<i>id_seg</i>	<i>idcarr</i>	Kmi – Kmf del segmento	Accidentes	muertos	Lesionados	Reportes accidentes	NAE
150041103001	411	43+200-43+700	3	0	13	21503, 11361503, 12201503	29
150041103003	411	44+200-44+700	2	1	8	741503, 1451503	24
150041103004	411	44+700-45+200	1	0	2	12071503	5
150041103005	411	45+200-45+700	1	0	0	10481503	1
150041103006	411	45+700-46+200	1	1	0	11031503	7
150041103010	411	47+700-48+200	2	0	0	10251503, 11561503	2

Finalmente, la información del resumen por segmento fue asignada directamente a los segmentos georreferenciados a través del identificador *id_seg*, con la herramienta “Join” de ArcMap.

3.2. Asignación de tránsito vehicular a tramos carreteros

La DGST de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes edita los Datos Viales con información del Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) [3]. Estos aforos son asignados al catálogo de tramos carreteros.

Como primer paso, se asigna un identificador de tramo (*carrtram*) a cada registro de la Base de Datos con TDPA. Este identificador está formado por el identificador de carretera (*idcarr*) y un número de tramo consecutivo, que en cada carretera inicia con uno, incrementa y finaliza con el total de tramos que forman la carretera. Este proceso fue realizado con el algoritmo de programación **crea_carrtram_dv.prg**.

Posteriormente, el TDPA en tramos con el mismo nombre y sentido de circulación (SC) 1 y 2 fue sumado. Para el resto de los TDPA la cantidad pasa igual a un nuevo campo. Lo anterior fue realizado para calcular el aforo promedio de ambos sentidos de circulación en cada tramo carretero. Este proceso fue realizado con el algoritmo de programación **tdpa_sumas.prg**. La Tabla 4 muestra sólo ocho campos y algunos registros, de los 7,719

que en el 2013 integraron la información de aforos, después de aplicar los dos algoritmos ya mencionados.

Tabla 4 – Archivo con información de TDPA

Idcarr	Carrtram	Nom_tramo	Km	TE	SC	TDPA	TDPA_SUM
411	41101	México	0	0	0	0	0
411	41102	Lim. Edos. term. D. F. ppia. Mex.	11.3	0	0	0	0
411	41103	Caseta de Cobro Tepotzotlán	43.01	2	1	25513	51026
411	41104	Caseta de Cobro Tepotzotlán	43.01	2	2	25513	0
411	41105	Ent. Jorobas	56.18	1	1	25483	51460
411	41106	Ent. Jorobas	56.18	1	2	25977	0

Por otra parte, en cada registro del catálogo de tramos carreteros fue asignado el identificador carrtram origen y destino que corresponde de la Base de Datos con TDPA, considerando el nombre del tramo y el kilómetro inicial y final, a fin de vincular la información. El sentido de circulación y el cadenamiento fue verificado antes de asignar el carrtram origen y destino, esto debido a que la información de aforos vehiculares inicializa la mayoría de las vías con un kilómetro inicial igual a cero, mientras que el catálogo de tramos carreteros sí considera el kilómetro real de inicio y fin de cada tramo.

Finalmente, el algoritmo de programación **vincula_aforos.prg** vincula el identificador carrtram origen y destino del catálogo de tramos carreteros con el identificador carrtram de la Base de Datos con TDPA y calcula promedios por configuración vehicular.

La Tabla 5 muestra un ejemplo de algunos registros con el identificador carrtram origen y destino que corresponde de la Base de Datos con TDPA, así como el valor asignado de tránsito vehicular.

Tabla 5 – Catálogo de tramos carreteros con TDPA asignado

Id_unico	Carrtram_origen	Carrtram_destino	TDPA
150041102	41103	41104	51026
150041103	41105	41106	51460
191908602	1908601	1908602	26165
191908603	1908603	1908604	11056

3.3. Asignación de velocidades de punto a tramos carreteros

La Dirección General de Servicios Técnicos (DGST) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes edita la información de velocidades de punto [3]. Estas velocidades son asignadas al catálogo de tramos carreteros mediante el algoritmo de programación **vincula_velocidades.prg**. Este algoritmo utiliza un procedimiento similar al aplicado en el punto anterior 3.2 para asignación de TDPA, vincula el identificador carrtram origen y destino y asigna la velocidad en cada registro del catálogo de tramos carreteros.

3.4. Asignación de estado superficial de la vía a segmentos de 500 metros

En el caso del estado superficial de la vía también fue posible realizar la asignación mediante la herramienta de software para SIG, denominada “Unión espacial”.

Como primer paso, es necesario crear datos espaciales a partir de la información de IRI registrada cada veinte metros y proporcionada también por la DGST. La herramienta “Agregar datos X,Y” de ArcMap ayuda a agregar datos de coordenadas X,Y como una capa. La Tabla 6 muestra algunos registros del formato con la información de IRI.

Tabla 6 – Archivo con información de IRI

Clave del tramo	Sentido	Carril	De Km	A Km	Longitud (X)	Latitud (Y)	IRI (izq, der)
A-064-01	1	1	43+000	43+020	-99.207327	19.714556	2.25
A-064-01	1	1	43+020	43+040	-99.207355	19.714735	1.92
A-064-01	1	1	43+040	43+060	-99.207390	19.714912	2.71
A-064-01	1	1	43+060	43+080	-99.207427	19.715090	13.58
A-064-01	1	1	43+080	43+100	-99.207465	19.715267	12.48
A-064-01	1	1	43+100	43+120	-99.207502	19.715444	11.56

Después de crear los datos espaciales se aplica la herramienta “Unión espacial” con los datos requeridos, como se muestra en la Figura 6. En entidades de destino se agrega el nombre de la capa de nodos pertenecientes a los segmentos de 500 metros; para esto es necesario aplicar previamente la herramienta “Vértices de entidad a puntos” de ArcMap a los segmentos de 500 metros creados en el punto 2.3; en entidades de unión se agrega el nombre del archivo tipo shape con IRI, creado después de usar la herramienta “Agregar datos X,Y”; en clase de entidad de salida se agrega el nombre del archivo resultado de la unión espacial; y en tipo de operación se escoge join_one_to_one unión espacial al nodo más cercano.

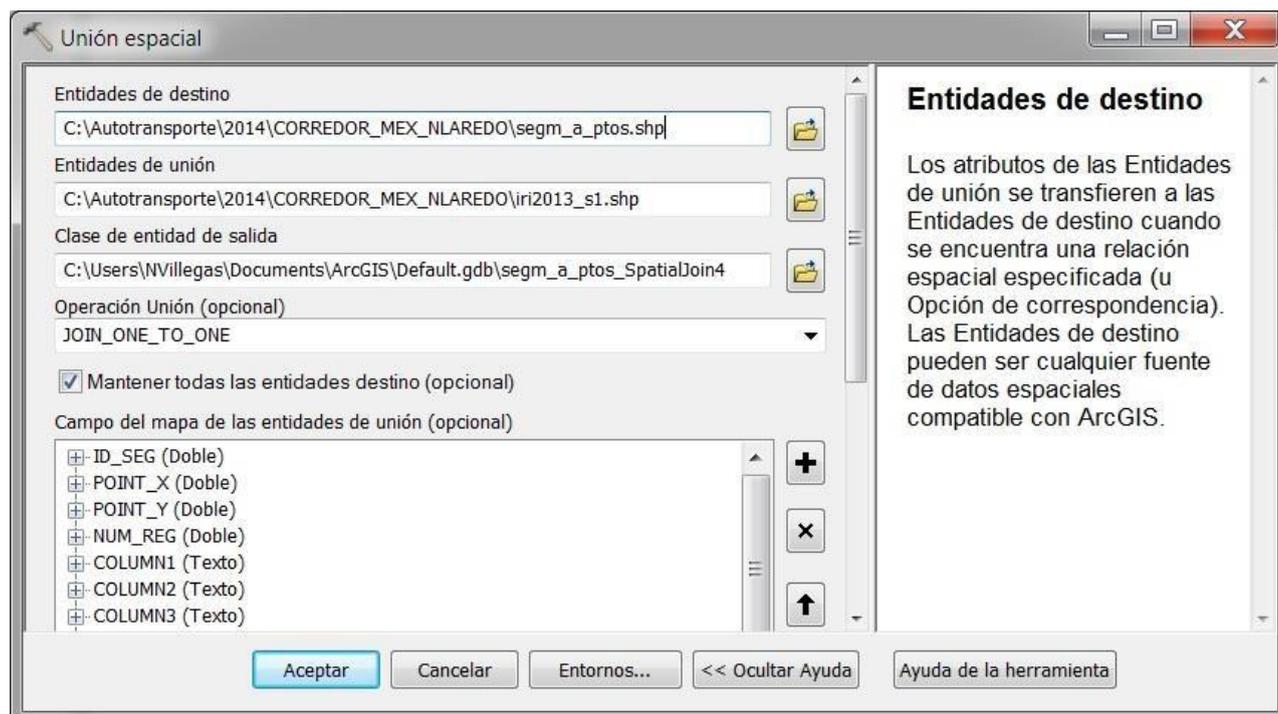


Figura 6 – Unión espacial de IRI con nodos de los segmentos de 500 metros

El resultado de la herramienta “Unión espacial” se exporta a un archivo tipo shape y se revisan y corrigen manualmente los nodos que no deben tener datos cuando el archivo espacial con IRI indica que no hay nodos cercanos al segmento. Finalmente, se convierte el archivo resultado a una tabla con extensión dbf y con el algoritmo de programación

filtra_iri.prg se obtiene el promedio de IRI registrado en los nodos de cada segmento de 500 metros a fin de obtener el promedio por segmento.

Una vez que finaliza el proceso de vinculación de índices de accidentes viales, tránsito vehicular, velocidades de punto y estado superficial de la vía con los segmentos y tramos carreteros, es posible elaborar la representatividad de los datos espaciales y sus atributos. Para el análisis espacial de estos datos el proceso de vinculación coadyuva para rastrear la localización de un segmento con determinadas características en sus atributos. El análisis de datos espaciales se refiere a aquellas ramas de análisis de datos en los que la referencia geográfica de los objetos contiene información importante [4].

4. REPRESENTATIVIDAD DE LOS DATOS DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO

La representatividad de los datos espaciales del corredor longitudinal México-Nuevo Laredo fue realizada con el software ArcMap 10 y el uso de Google Maps para visualizar los segmentos de carreteras en un navegador de Internet.

4.1. Asignar simbología y crear archivo tipo kmz en ArcMap

Como primer paso, en ArcMap fue asignada una simbología a los segmentos de 500 metros creados en el punto 2.3. El criterio para asignar a los segmentos un color por intervalos fue el siguiente: NAE entre 1 y 10 anaranjado; NAE entre 11 y 20 azul marino; y NAE > 20 rojo. La Figura 7 muestra el cuadro de diálogo con los parámetros agregados.

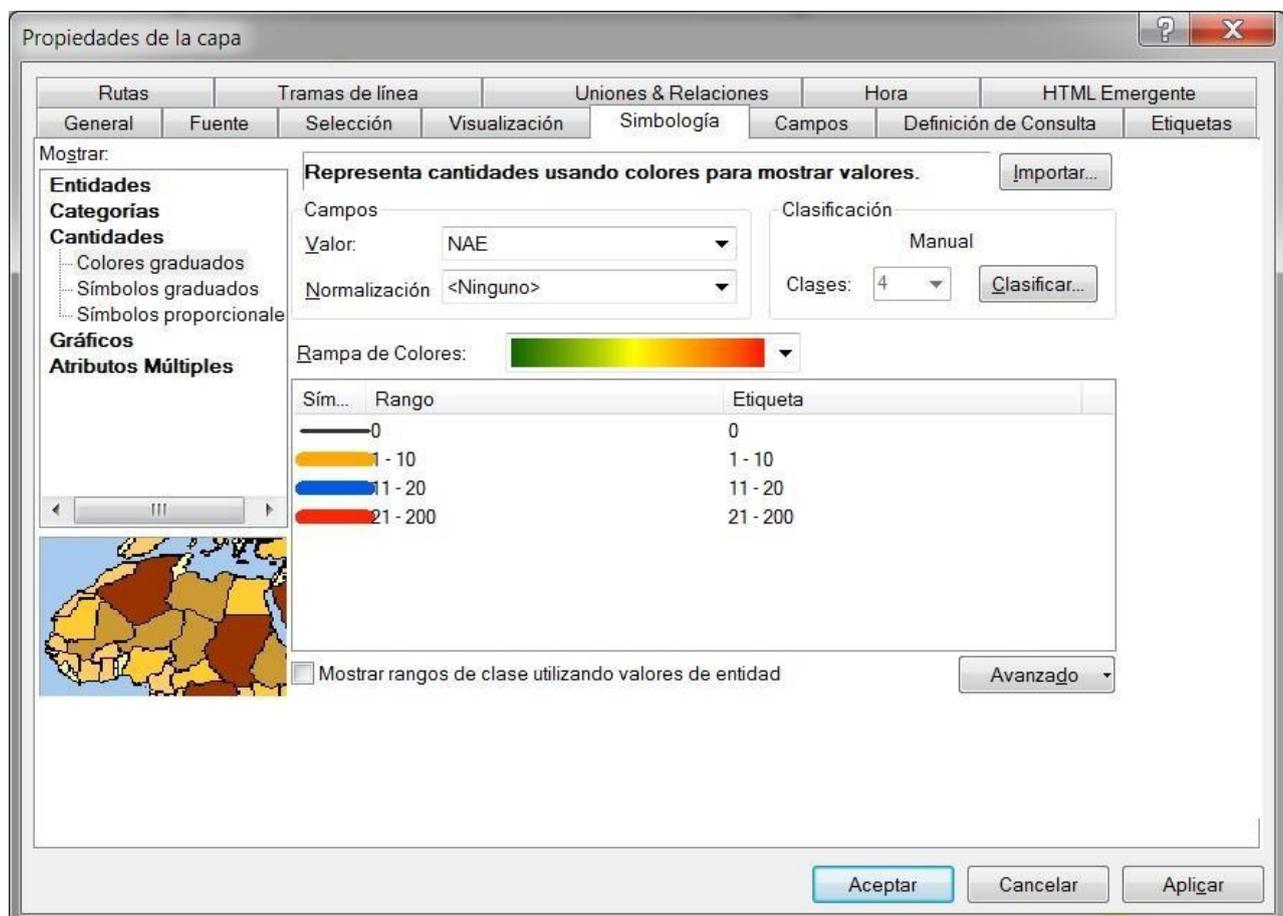


Figura 7 – Asignación de simbología en líneas

Posteriormente, se creó el archivo tipo kmz con la herramienta de ArcMap “Capa a kml”, como se muestra en el cuadro de diálogo de la Figura 8. Un archivo kmz es un archivo kml comprimido. El Lenguaje de Marcado Keyhole (KML, por sus siglas en inglés) es un formato basado en Lenguaje de Marcas Extensible (XML, por sus siglas en inglés) para almacenar datos geográficos y para compartirlos con personas que no utilizan SIG, además de ser un formato específico para visualizarse en Google Earth/Maps.

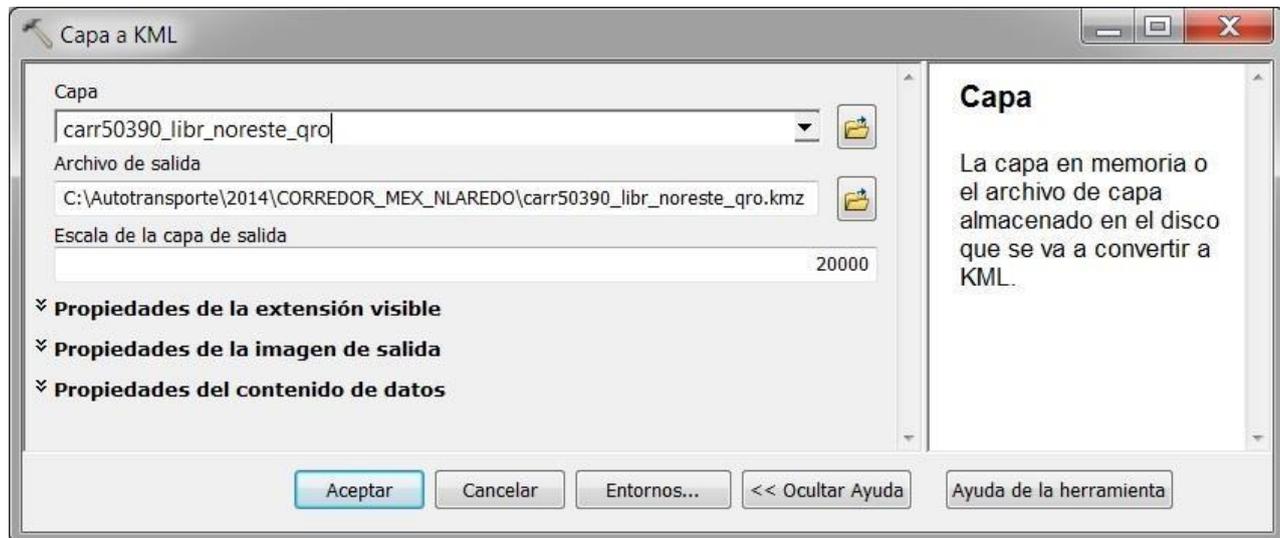


Figura 8 – Creación del archivo tipo kmz

El resultado de la herramienta “capa a kml” es un archivo kmz. Para convertir un archivo con extensión kmz a un archivo kml únicamente se debe cambiar la extensión del archivo kmz a zip y extraer el contenido.

4.2. Representatividad de los datos espaciales con Google Maps

La representatividad de las carreteras segmentadas fue realizada en Google Maps. Primero, se crea un mapa con la función de mapas personalizados de Google Maps, para esto se selecciona la opción “Mis mapas” y luego “Crear un nuevo mapa”, después la opción “Importar” archivo kml, que corresponde al archivo creado en el punto anterior 4.1. Después de importar el archivo, se selecciona “compartir” de uso público y la opción “insertar en mi sitio” para acceder al URL abreviado del mapa y al código html. Al final, este código html fue utilizado en nuestro sitio Web.

Esta representatividad de datos espaciales facilita el análisis de datos para usuarios que no tienen software de SIG instalado en sus máquinas locales. Un gobierno o empresa grande podría hacer que la información de sus mapas esté disponible para que otras áreas o departamentos no tengan que almacenar sus datos localmente [5].

Finalmente, la Figura 9 ilustra un ejemplo con el código html del Libramiento Noreste de Querétaro con representación de segmentos de acuerdo al índice NAE, cuya simbología fue descrita en el punto anterior. La Figura 10 ilustra el mismo Libramiento Noreste de Querétaro pero con un tipo de mapa diferente, además del recuadro que aparece al hacer clic en algún segmento de carretera, el cual contiene las características asignadas al segmento seleccionado. Y la Figura 11 ilustra el corredor longitudinal México-Nuevo Laredo, en México, clasificado, segmentado y con atributos asignados.

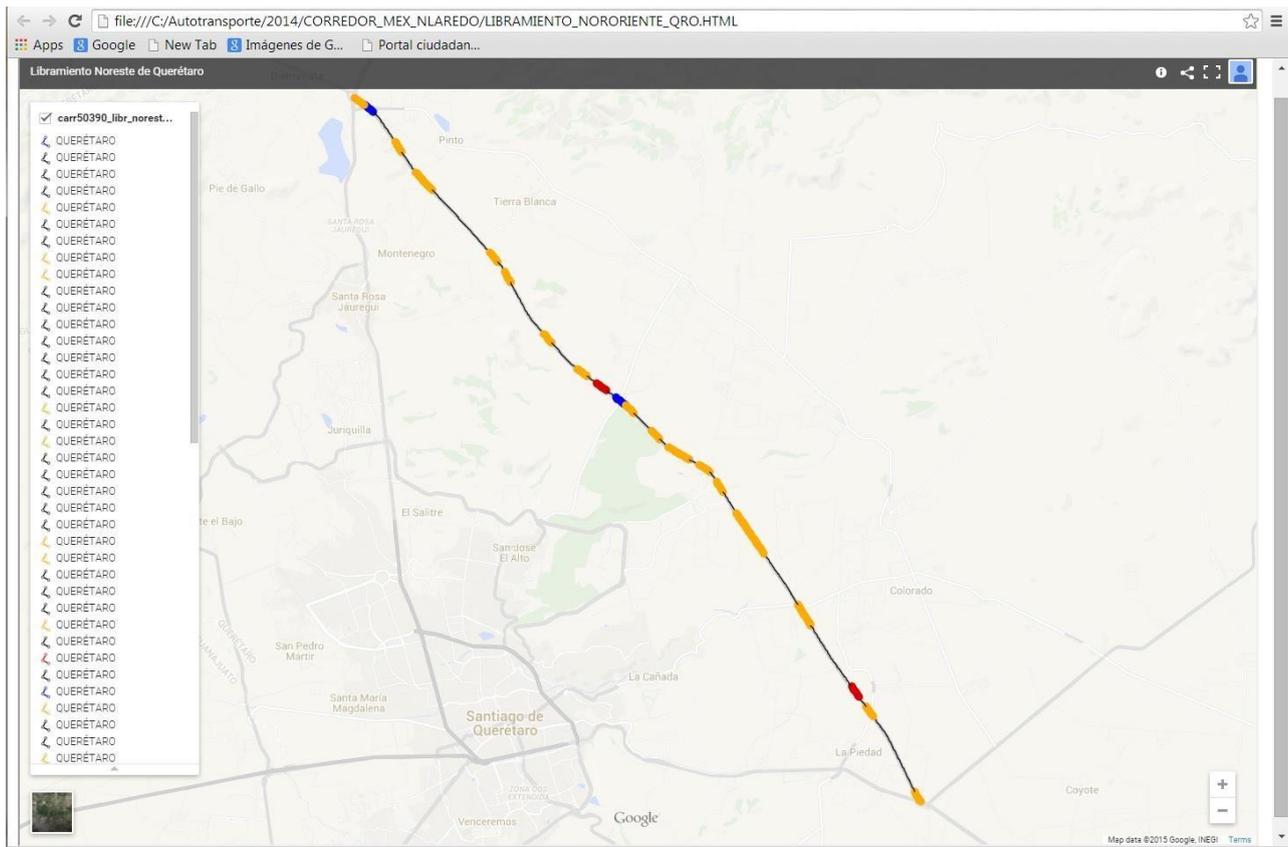


Figura 9 – Representatividad de datos en el Libramiento Noreste de Querétaro

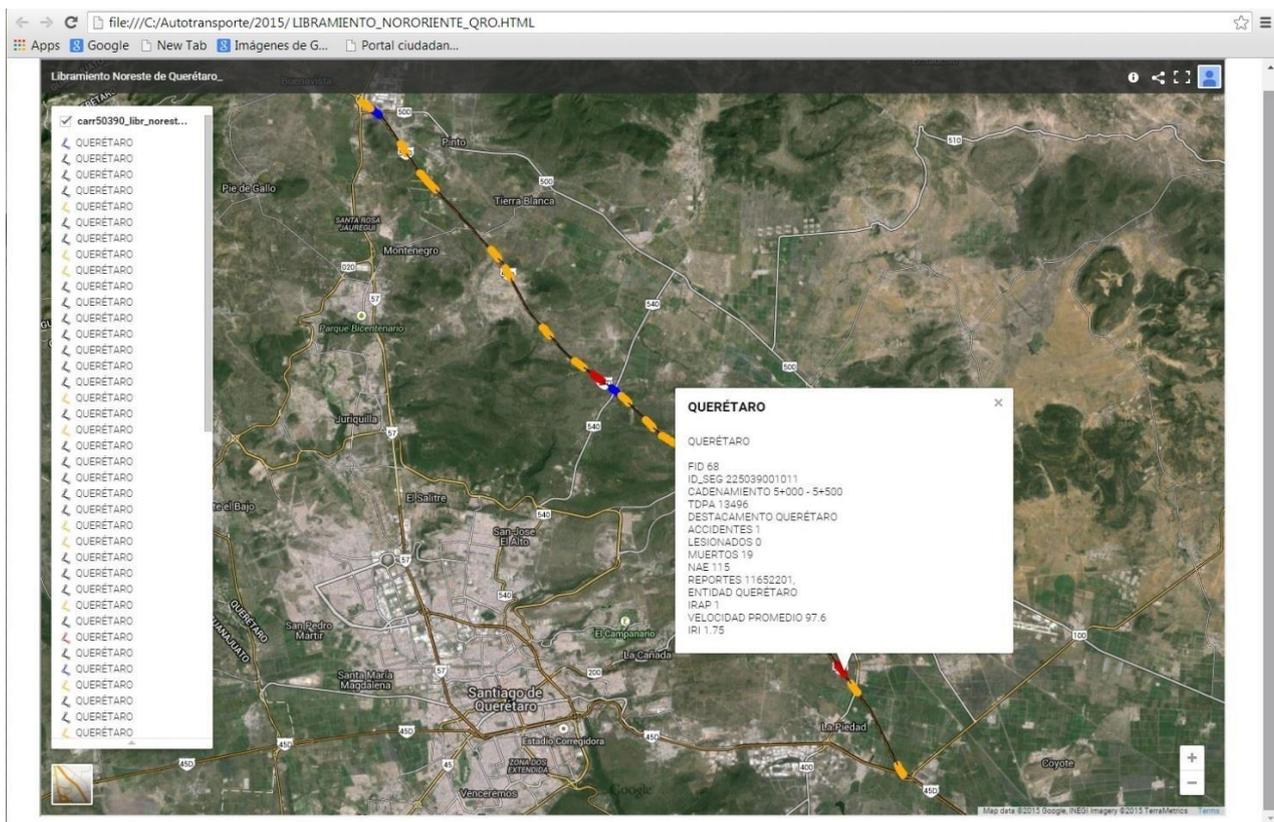


Figura 10 – Representatividad de datos en el Libramiento Noreste de Querétaro

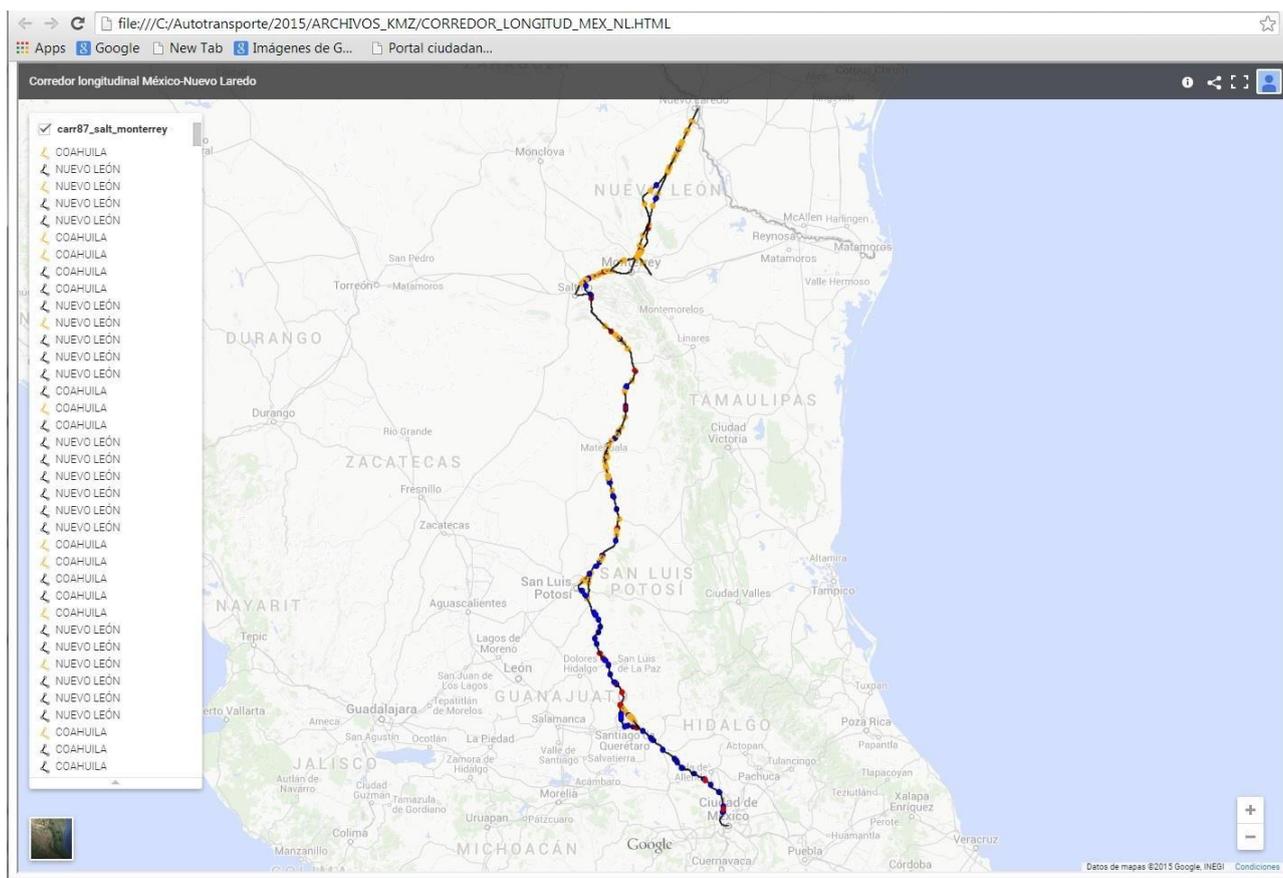


Figura 11 – Representatividad de datos en el corredor longitudinal México-Nuevo Laredo

Los beneficios principales de un modelo de red vial georreferenciado con carreteras clasificadas y en segmentos de 500 metros son: 1) la obtención rápida de estadísticas de accidentalidad por segmento, tramo y carretera, a partir de la aplicación de algoritmos de programación que vinculan las Bases de Datos de accidentes viales con un segmento específico de la red, y posibilitan la actualización de datos año con año; 2) la representatividad de los datos de accidentes viales; 3) el cálculo de costos de operación vehicular; y 4) la obtención de una red con características y atributos para estudios de modelación de redes de transporte.

Los procedimientos con algoritmos de programación facilitan la automatización y obtención de resultados en menor tiempo, y la posibilidad de integrar datos de diversas fuentes, ya que es más difícil gestionar grandes volúmenes de información y vincular automáticamente estos datos con la red vial sin estos procedimientos y una infraestructura informática para su aplicación.

RECONOCIMIENTOS

Esta investigación fue financiada con fondos de la Red Temática de Accidentes Viales (Número 253411), como parte del programa de Redes Temáticas 2015 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT).

REFERENCIAS

1. Biblioteca de ayuda para el sistema de ArcGIS 10. Disponible en:
<http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//003900000026000000>
2. ESRI, Understanding GIS, The Arc/Info Method, version 7 for Unix and Open VMS, 1995.
3. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Dirección General de Servicios Técnicos (DGST), Subsecretaría de Infraestructura, México, 2014. Disponible en:
<http://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/datos-viales/2014/>
4. M.F. Goodchild and R.P. Haining, GIS and spatial data analysis: converging perspectives. Papers in Regional Science, 2004.
5. Mitchell, Tyler, Web Mapping, Using Open Source GIS Toolkits, O'Reilly, 2005, p213.

ASPECTOS RELEVANTES DE SEGURIDAD VIAL

A. MENDOZA, G RIOS & E. ABARCA
Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte,
Instituto Mexicano del Transporte, México
mendoza@imt.mx, grios@imt.mx, eabarca@imt.mx

RESUMEN

La seguridad vial es un problema que afecta a todos los individuos que integran la sociedad, pues para realizar los quehaceres cotidianos (trabajar, estudiar, ir de compras, entre otros) es necesario viajar. Debido a lo anterior, todas las personas son usuarios del sistema vial, sin embargo, equivocadamente se suele creer que “tener accidentes o sufrir sus consecuencias es algo que le pasa a los demás, pero que difícilmente podría pasarme a mí”. En ese sentido, este trabajo tiene el objetivo de mostrar ciertos aspectos relevantes que intervienen en la seguridad vial, centrándose principalmente en el factor humano y la infraestructura. Así mismo, se pretende divulgar el conocimiento de dichos aspectos para crear conciencia y desarrollar un comportamiento más seguro y responsable de todos los involucrados en el sistema vial.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a las estadísticas publicadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para el año 2012 y 2013 las lesiones generadas a partir de los accidentes viales se encuentran en las diez primeras causas de muerte en México [1]. Así mismo, las lesiones que se derivan de los accidentes viales resultan ser la primera causa de muerte y discapacidad para la población joven de México; además, la problemática ha desarrollado consecuencias colaterales como lo son trastornos mentales, cambios en el estilo de vida, entre otros [2]. Para el año 2012, 17,102 personas fallecieron, más de 150 mil resultaron con lesiones leves y más de 33,300 sufrieron lesiones graves. Durante el año 2013, 15,856 personas resultaron muertas, aproximadamente 140 mil sufrieron heridas leves y cerca de 32,000 tuvieron lesiones graves (Véase Tabla 1). Los resultados anteriormente expuestos muestran que si bien se ha tenido una reducción de la problemática, la sociedad mexicana se encuentra bajo una amenaza significativa frente a los accidentes viales los cuales están afectando la calidad de vida de la población.

Dados los graves y crecientes daños de los accidentes viales en términos de los muertos, lesionados y discapacitados que producen entre las personas con mayor potencial productivo (de menos de 30 años de edad), así como las pérdidas económicas que implican, en el año 2010 la ONU hizo un llamado a los países a unirse al Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2011-2020 [3]. Posteriormente, el Plan Global de Acción para la Seguridad Vial propuso la meta de estabilizar y luego reducir en 50% las muertes pronosticadas al año 2020. El logro de esta ambiciosa meta requiere de la aplicación de un enfoque sistémico de gestión, tanto a nivel de las jurisdicciones (federal, estatal, municipal) como de las organizaciones interesadas. Este enfoque abandona el énfasis de culpar al usuario por los accidentes viales, asignando la responsabilidad a los diseñadores o proveedores del sistema (p. ej. planificadores, proyectistas, legisladores, corporaciones policiacas de vigilancia, fabricantes de vehículos, operadores de carreteras, transportistas, etc.). Asimismo, está dirigido a coordinar la acción de estos elementos para lograr el objetivo de largo plazo de eliminar las muertes y lesiones graves. México es uno de los países que se adhirió al llamado de las Naciones Unidas.

Es por lo anterior que el presente trabajo publica algunos aspectos principales que intervienen en la seguridad vial, haciendo referencia a dos actores principales: i) el factor humano y ii) la infraestructura; lo anterior, con el objetivo de que la información sea expuesta para crear conciencia de la problemática y, de esta manera, desarrollar una actuación más segura y responsable de los usuarios de la vía pública.

Tabla 1 - Indicadores de seguridad vial en México [1,2]

Indicador / Año	2012	2013	
Accidentes viales	414,627	406,508	
Carreteras Federales	-	22,036	
Zonas urbanas y suburbanas	-	384,472	
Muertos	17,102	15,856	
Peatones	8,986	8,161	
Ciclistas	325	278	
Motociclistas	1,847	1,959	
Ocupantes	5,944	5,458	
Heridos	153,685	142,626	
Heridos leves	120,442	110,854	
Heridos graves	33,243	31,772	
Población	117,053,751	118,395,053	
Vehículos	35,005,913	36,742,180	
Tasa de mortalidad	14.60	13.40	por 100,000 habitantes
Tasa hombres	-	21.90	por 100,000 habitantes
Tasa mujeres	-	5.30	por 100,000 habitantes
Tasa de accidentalidad	11.80	11.10	por 1,000 vehículos
Tasa de letalidad	41.20	39.00	por 1,000 accidentes
Tasa de motorización	299.10	310.30	por 1,000 habitantes

2. EL FACTOR HUMANO

Un problema grave que afecta al sector más joven de nuestra sociedad y que se ha convertido en problema de salud pública son los accidentes de tráfico. El “factor humano” representa la causa principal de accidentes entre un 70% y un 90% de las veces. Los factores de riesgo en la ocurrencia de accidentes entre los jóvenes, son factores propios de la juventud tales como la agresividad, la búsqueda de emociones, la competitividad y el exhibicionismo desmesurado y peligroso. Esta situación, generalmente, se ve influenciada por el mal ejemplo que los padres infunden a los hijos. Dicho de otra manera, los jóvenes que acostumbran a conducir a exceso de velocidad, sin cinturón de seguridad, sin respetar el señalamiento vial o bajo efectos del alcohol, comúnmente tienen padres que suelen actuar de la misma manera.

2.1. La velocidad

El exceso de velocidad es un problema recurrente en todos los conductores siendo ésta la principal causa de accidentes de tránsito entre los jóvenes. Los conductores adolescentes tienen una tasa de mortalidad que es 15 veces mayor que entre los conductores de

mediana edad. El elevado riesgo de accidentes en los conductores jóvenes se debe a factores relacionados con la edad, como la inmadurez y la presión de grupo; y/o la relativa falta de experiencia en la conducción. Aunado que el área del cerebro que controla la toma de decisiones y riesgos no está completamente desarrollada hasta los 21 años. Esta parte es responsable de la planeación, razonamiento lógico y anticipación de consecuencias a largo plazo.

A nivel internacional se sugieren los siguientes límites máximos de velocidad en las diferentes situaciones señaladas: 110 km/h en autopistas interurbanas que tienen 9 m de zona lateral libre de obstáculos como mínimo e intersecciones a desnivel ampliamente separadas (a más de 3 km entre sí); 100 km/h en carreteras interurbanas que no cumplen con los estándares de proyecto de las autopistas; 80 km/h en arterias urbanas divididas con control total de acceso; 70 km/h en arterias urbanas con control parcial de acceso; 60 km/h en vías colectoras urbanas sin control de acceso; 50 km/h en vías colectoras y locales urbanas con un intenso desarrollo del suelo en su entorno, por ejemplo, centros comerciales lineales con fricción generada por movimientos de acceso y estacionamiento, actividad de peatones, ciclistas, etc.; 30 km/h en el interior de zonas residenciales, y 10 km/h dónde se tengan vehículos y peatones compartiendo el mismo espacio vial, con prioridad por supuesto para los peatones (por ejemplo, vehículos de servicio en centros comerciales). Los valores anteriores pueden no ser aplicables a todos los entornos y casos, y sólo se presentan como una guía de lo que puede ser apropiado y estimado como razonable por los conductores.

Los peatones tienen un alto riesgo de resultar gravemente heridos o perder la vida al ser impactados por un vehículo debido a la nula protección con la que cuentan, es por lo anterior que dichos usuarios de la vía forman parte del grupo de usuarios vulnerables. El 90% de los peatones sobrevive al ser atropellados por un vehículo que viaja a 30 km/h; sin embargo, si el vehículo viaja a 50 km/h, la probabilidad baja hasta el 20%. Por otro lado, si un vehículo circula a 30 km/h y un niño cruza la calle a una distancia de 13 metros, el vehículo puede detenerse completamente antes de impactarlo. Para este mismo caso, si el vehículo circula a 50 km/h, requiere de alrededor de 30 m para detenerse, por lo que la probabilidad de que el niño sobreviva es muy baja. Los argumentos anteriores son la base para establecer 30 km/h como límite máximo en zonas con afluencia peatonal considerable.

2.2. Conducción en estado de ebriedad

El exceso de velocidad está frecuentemente relacionado con conducir en estado de ebriedad o con distracciones como conversaciones con pasajeros o el uso de aparatos electrónicos. Los jóvenes frecuentemente utilizan las mismas razones que un adulto para exceder la velocidad: “Ya es tarde”, “Manejo bien, todo está controlado”, “Todo mundo lo hace”, “No hay policías cerca”, etc. Cabe resaltar que a mayor velocidad, mayor facilidad de perder el control del vehículo, mayor será la velocidad de impacto y por ende, más graves serán las consecuencias del accidente. Así mismo, a mayor velocidad, menor es el tiempo de reacción y mayor es la probabilidad de que la decisión tomada sea incorrecta.

La conducción bajo efectos del alcohol, es una de las conductas erróneas que más problemas de siniestralidad vial generan. En la mayoría de los países de altos ingresos, 20% de los conductores mueren en accidentes viales a causa de una Concentración de Alcohol en la Sangre (CAS) por encima del límite legal. En países de ingresos medianos y bajos, entre 33% y 69% de los conductores fallecidos y entre 8% y 29% de los conductores lesionados ingirieron alcohol antes de su accidente. Cabe señalar que la

mayoría de estos conductores dejan una cauda de muertos, heridos y daños materiales en personas inocentes que resultan involucradas en dichos accidentes.

Entre más alcohol ingiera, una persona tendrá mayor Concentración de Alcohol en la Sangre (CAS), por lo tanto mayor es el efecto en la conducción lo que resulta en mayor riesgo de sufrir un accidente. Para una persona de 60 kg, el ingerir tres botellas de cerveza de 300 ml - 5% de contenido de alcohol en volumen - le generaría una CAS de 0.05 g de alcohol por cada 100 ml de sangre. Esto excedería el nivel legal que es de 0.04 g/100 ml. Los síntomas que presentaría serían euforia, reflejos más lentos y las primeras fallas de coordinación donde el tiempo de recuperación sería de 4 a 8 horas. Por tanto, el riesgo de sufrir un accidente se multiplicaría por cinco. Efectos similares se obtendrían con un vaso de vino de 200 ml (11° de alcohol), o con un jaibol preparado con whisky (40° de alcohol).

2.3. Elementos de seguridad para el usuario

El aumento del tránsito automovilístico en el mundo ha generado incrementos en los accidentes y las lesiones a los ocupantes de los vehículos. Una de las medidas más efectivas para proteger a los ocupantes, en caso de accidente, es el uso de cinturón de seguridad y sistemas de retención infantil. Todos los ocupantes del vehículo deben ir adecuadamente sujetos cuando viajan en un vehículo. Cuando se produce un accidente, el ocupante sin cinturón de seguridad seguirá moviéndose a la misma velocidad a la que se desplazaba el vehículo antes de la colisión y será arrojado hacia adelante contra la estructura del vehículo. Alternativamente, puede verse expulsado del vehículo completamente; setenta y cinco por ciento de todos los ocupantes expulsados, mueren como resultado de ello.

Los bebés y los niños necesitan un sistema de retención infantil adecuado según su tamaño y peso. Los cinturones de seguridad de tres puntos de apoyo y los que van en diagonal que son para adultos, no están diseñados para las diferentes proporciones relativas de los cuerpos de los niños. Los sistemas de retención infantil están específicamente diseñados para proteger a los bebés y niños pequeños durante la colisión o una parada repentina mediante la sujeción a la estructura del vehículo, distribuyendo las fuerzas de un choque sobre las partes más fuertes del cuerpo, con un daño mínimo a los tejidos blandos. También son eficaces en el caso de eventos que no son colisiones, tales como una parada repentina, una maniobra evasiva o la apertura accidental de una puerta durante el movimiento del vehículo.

Los cascos para motociclistas están diseñados para reducir las posibilidades de lesiones craneales y faciales, pero no están diseñados para evitar lesiones en otras partes del cuerpo. Para reducir la probabilidad de este tipo de lesiones en el tronco y las extremidades, conviene usar chaqueta, pantalón, guantes y zapatos o botas, todos de cuero u otros materiales resistentes, que cubran brazos, manos, piernas y pies, además de obedecer las normas de tránsito, incluyendo el respeto de los límites de velocidad y no conducir en estado de ebriedad.

3. LA INFRAESTRUCTURA

La ingeniería de seguridad vial es un proceso que aplica principios de la ingeniería con el objetivo de identificar mejoras al diseño carretero o la gestión del tránsito que, de forma rentable, permitan reducir el costo de los accidentes viales. La ingeniería de seguridad vial

se aplica a los siguientes niveles: la planificación de la seguridad de nuevas redes viales, la incorporación de elementos de seguridad en el diseño de nuevas carreteras, la mejora de los aspectos de seguridad de los caminos existentes para evitar problemas en el futuro, y la mejora de los lugares peligrosos conocidos en la red vial. Los dos primeros niveles corresponden a la etapa de proyecto de las carreteras. El tercero es un enfoque preventivo que cuantifica y reduce el riesgo de los segmentos, a partir de principios de auditoría establecidos, antes de que mueran personas o resulten gravemente heridas. El cuarto es el enfoque correctivo tradicional que consiste en mejorar los lugares identificados como de alto riesgo a partir del historial de accidentes.

3.1. Diseño geométrico y delineación

El alineamiento horizontal y vertical no debe ser considerado ni de forma independiente uno del otro, ni independientemente de las normas de diseño aplicables al resto de la vía. La presencia simultánea de dos o más factores (pendientes, curvas, intersecciones, estructuras, etc.) produce generalmente de 2 a 3 veces más accidentes que los segmentos libres de tales factores. Se recomienda evitar curvas horizontales de menos de 500 m de radio y pendientes de más de 4 por ciento, en particular de manera combinada.

La consistencia a lo largo de una carretera es de vital importancia. Por lo tanto, una curva pronunciada aislada en una vía que generalmente cuenta con secciones rectas largas y/o curvas de gran radio muy probablemente causará problemas de seguridad vial. Por la misma razón, la primera curva, en una serie de curvas, puede tener más accidentes que curvas similares o incluso con mayor grado de curvatura ubicadas en segmentos posteriores. La consistencia de la carretera en los términos anteriormente expuestos adquiere relevancia, principalmente cuando las expectativas de los conductores son violadas, por ello se vuelve necesario tomar medidas para alertarlos. También implica que cualquier trabajo de reconstrucción realizado en una vía debe ser a un estándar consistente. En la Figura 1 se ilustra una curva aislada muy peligrosa que está siendo rectificada a través de otra de radio mucho más amplio, más consistente con el estándar del resto de la vía.



Figura 1 – Rectificación de curva peligrosa.

La delineación de una carretera se realiza a través de marcas en el pavimento, indicadores de alineamiento laterales y vialetas, colocados en la calzada y adyacentemente a ésta con la finalidad de poder definir la trayectoria que deberá seguir el vehículo, controlar su posición y movimiento, proporcionando información visual al

conductor para que identifique los límites legales y de seguridad de la calzada; regular la dirección de viaje, el cambio de carriles y los rebases; marcar los carriles o zonas donde las maniobras como vueltas o el estacionamiento son permitidas, requeridas o restringidas; mejorar la progresión ordenada de los vehículos en los carriles, particularmente durante la conducción nocturna; y ayudar en la identificación de situaciones potencialmente peligrosas, como obstáculos y cruces de peatones. Una buena delimitación es vital para la operación segura de una carretera.

3.2. Intersecciones

Los entronques a desnivel son la forma más segura para la intersección. La separación de niveles de una intersección a nivel puede justificarse más por motivos de capacidad que de seguridad vial, pero los beneficios en seguridad pueden ser considerables. Las separaciones de nivel generan reducciones de entre 50 y 60 por ciento de los accidentes en intersecciones en cruz y de 10 por ciento en entronque en T. La severidad de los accidentes también se reduce. Es importante apegarse a las recomendaciones en los manuales de diseño para asegurar que las convergencias, divergencias y rampas operen de manera segura y eficiente. Las rampas con pendiente ascendente tienen menores tasas de accidentes, por lo que desde un punto de vista de seguridad vial es preferible que la vía que se conecta pase por encima de la vialidad. Es necesario prestar especial atención a las necesidades de los camiones de carga en las rampas, ya que éstos tienen un mayor potencial tanto de volcarse como de derrapar. Las rampas de los entronques de trébol, tijera y las que salen desde los carriles de alta velocidad a la izquierda de la calzada, tienen un desempeño inferior en seguridad vial.

Las glorietas pueden ser una medida efectiva y rentable de seguridad vial si se instalan en los sitios donde son adecuadas. Desde un punto de vista operativo, pueden ser aplicables: en las intersecciones donde los volúmenes de tránsito conducirían a demoras inaceptables para el tránsito en la vía secundaria si éste es controlado a través de señales de ALTO o CEDA EL PASO, o donde la instalación de semáforos conduciría a una mayor demora en todos los accesos; en las intersecciones en las que hay altos volúmenes de vuelta a la izquierda; y en las vías locales como parte de una estrategia de gestión del tránsito para controlar las velocidades.

Las glorietas no se recomiendan en sitios que son parte de una ruta de semáforos coordinados, a lo largo de rutas de tren ligero o metrobús o a lo largo de rutas designadas para bicicletas. Los peatones pueden transitar tan seguramente en las glorietas como en otras intersecciones, siempre y cuando sean considerados adecuadamente en el diseño de las mismas. En las glorietas tienen preferencia los vehículos que circulan por ella frente a quienes pretenden acceder a ella. Es necesario señalar los cambios de carril dentro de la glorieta para advertir al resto de los usuarios. Existe evidencia de que las glorietas reducen tanto la severidad como la frecuencia de los accidentes.

3.3. Elementos de seguridad en la infraestructura

Las barreras metálicas, comúnmente de doble y triple onda o de sección hueca rectangular, actúan disipando la energía cinética del vehículo que se impacta, en tres direcciones: vertical, paralela a la barrera y perpendicular a la misma. Para que ocurra la disipación de energía y el vehículo pueda cambiar de dirección efectivamente, es indispensable prestar especial atención al montaje e instalación adecuados de los componentes de la barrera. Los ejemplos de instalación deficiente o inadecuada incluyen: barreras demasiado bajas, induciendo que los vehículos se volteen por encima de la barrera en vez de que sean detenidos; barreras demasiado altas, en cuyo caso el

vehículo puede pasar por debajo de la barrera o quedar atrapado en ella; con terminación expuesta en forma de "cola de pescado" o sin los anclajes adecuados, donde la primera constituye un peligro en sí misma (Véase Figura 2), mientras que la falta de anclajes puede dar lugar a que la barrera sea demolida en una colisión en vez de quedarse en su lugar evitando redireccionar y desacelerar al vehículo; con transición inadecuada, donde una transición correcta tendrá sus extremos alejados de la calzada, por lo que será poco probable que pueda ser impactada; con separación insuficiente entre postes, sobre todo en la aproximación a un puente u otro objeto rígido, donde es importante que la separación entre postes disminuya al acercarse al puente para rigidizar la transición entre la barrera y el puente. Una barrera metálica mal instalada puede llegar a ser más peligrosa que el objeto que está protegiendo, y puede dejar a la autoridad responsable de su instalación en situación de vulnerabilidad ante posibles cargos de negligencia en caso de accidente.



Figura 2 – Barrera metálica con terminación peligrosa.

Uno de los elementos de seguridad diseñados específicamente para camiones de carga son las rampas de frenado de emergencia, las cuales se construyen para reducir el riesgo generado por un camión que ha perdido su capacidad de frenado en una pendiente descendente. Los siguientes factores están relacionados con este tipo de incidentes: la magnitud de la pendiente; error del conductor, tal como no realizar un cambio descendente en la caja de velocidades; fallas mecánicas en el vehículo, principalmente en el sistema de frenos; inexperiencia en la conducción en terreno montañoso; inexperiencia con el vehículo; falta de familiaridad con la vía transitada; inaptitud del conductor debido a la fatiga o el alcohol; y señalamiento inadecuado en la pendiente descendente.

Las rampas de frenado de emergencia funcionan, ya sea por la acción de la gravedad, o por el uso de alguna forma de material granular suelto que aumenta la resistencia para girar de las ruedas del camión, o por la combinación de los dos mecanismos anteriores, como es el caso de la rampa que se ilustra en la Figura 3. Cuando se construyen adecuadamente (p. ej. del lado del arroyo vial por el que circulan los camiones), pueden llegar a tener una efectividad del 100% en la reducción de accidentes y una relación beneficio/costo de 10. La Norma Oficial Mexicana que indica los criterios generales para el diseño estos elementos de seguridad es la NOM-036-SCT2-2009 [4].



Figura 3 – Rampa de frenado de emergencia.

CONCLUSIONES

En este trabajo se mencionan algunos aspectos fundamentales que intervienen en la seguridad vial en relación con el factor humano y la infraestructura. El mejoramiento de estos dos factores es fundamental, dado que al primero se le atribuye ser la causa principal en un alto porcentaje de los accidentes (entre 70 y 90%) así como también a la interacción entre el factor humano y la infraestructura. Esto último significa que el mejoramiento de la infraestructura tiene un alto potencial de reducir el error humano que conduce a accidentes viales, así como de mitigar las consecuencias de los mismos.

RECONOCIMIENTOS

Esta investigación fue financiada con fondos de la Red Temática de Accidentes Viales (Número 253411), como parte del programa de Redes Temáticas 2015 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

REFERENCIAS

1. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2012 y 2013, Estadísticas de mortalidad, número de habitantes y flota vehicular a nivel nacional, <http://www.inegi.org.mx/>.
2. Secretariado Técnico del Consejo Nacional para la Prevención de Accidentes (2013), Perfil Nacional de Seguridad Vial, México 2013. Secretaría de Salud/STCONAPRA. México. Distrito Federal.
3. Organización de las Naciones Unidas (2011), Plan Mundial para el Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2011-2020, Ginebra, Suiza.
4. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2009) NOM-036-SCT2-2009: Rampas de emergencia para frenado en carreteras, México, Distrito Federal.



1er SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES VIALES

INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES PARA DEFINIR MEDIDAS DE SOLUCION EFECTIVAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA de TAMAUPLIPAS



UNIVERSITAT DE VALÈNCIA Facultat de Psicologia

