

## **TRATAMIENTO DE SITIOS DE ALTA INCIDENCIA DE ACCIDENTES EN CARRETERAS MEXICANAS**

### **Octavio Agustín Rascón Chávez**

Instituto Mexicano del Transporte

Director General

Km 12 de la Carretera Querétaro-Galindo; 76700 Pedro Escobedo, Querétaro. México

Tel +52 (55) 5584 5452

Fax +52 (55) 5265 3190 ó 91 ext. 4700#

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

### **Alberto Mendoza Díaz**

Instituto Mexicano del Transporte

Coordinador de Seguridad y Operación del Transporte

Tel +52 (442) 216 9777 ó 9502 ext. 2014# y 2015#

Fax +52 (442) 216 9777 ext. 3037#

[Alberto.Mendoza@imt.mx](mailto:Alberto.Mendoza@imt.mx)

### **Emilio Francisco Mayoral Grajeda**

Instituto Mexicano del Transporte

Jefe de la Unidad de Seguridad Vial

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

## **RESUMEN**

Una de las medidas de mejoramiento de la seguridad vial en la infraestructura, que se instrumentan en México, es el tratamiento de sitios de alta incidencia de accidentes. Un sitio de alta incidencia de accidentes es un segmento de cierta longitud (según el tipo de vía) en el que consistentemente (en varios años) se presenta una determinada frecuencia anual de accidentes con cierto nivel de severidad (con lesionados) por encima de un valor límite. El Instituto Mexicano del Transporte (IMT) ha participado en la identificación y diseño de las medidas de mejoramiento para una gran cantidad de sitios de alta incidencia de accidentes en carreteras mexicanas. En este trabajo se describe la metodología seguida por el IMT para ello. Como este tipo de medidas es correctivo de un problema que se manifiesta a través de la elevada ocurrencia de los accidentes, la metodología se inicia con la identificación de dichos sitios a partir de los registros de accidentes de la policía y/o de los servicios

médicos. Los pasos subsiguientes son: el análisis estadístico de los datos de los registros de accidentes, la visita a campo para la recopilación de las características físicas y operativas prevalecientes, la generación del diagnóstico, el diseño y evaluación de alternativas de mejoramiento, y la integración de la estrategia de mejoramiento (con las más convenientes de las alternativas consideradas). También se describen algunas de las deficiencias más comúnmente encontradas.

**PALABRAS CLAVE:** tratamiento, sitio de alta incidencia de accidentes, carretera mexicana

## 1. METODOLOGÍA

Un programa para el tratamiento de sitios de alta incidencia de accidentes tiene como objetivos: (I) identificar los sitios con un inherente alto riesgo de pérdidas por accidentes y una oportunidad económicamente justificable de reducir el riesgo, y (II) identificar opciones de mejoramiento y prioridades que maximicen los beneficios económicos.

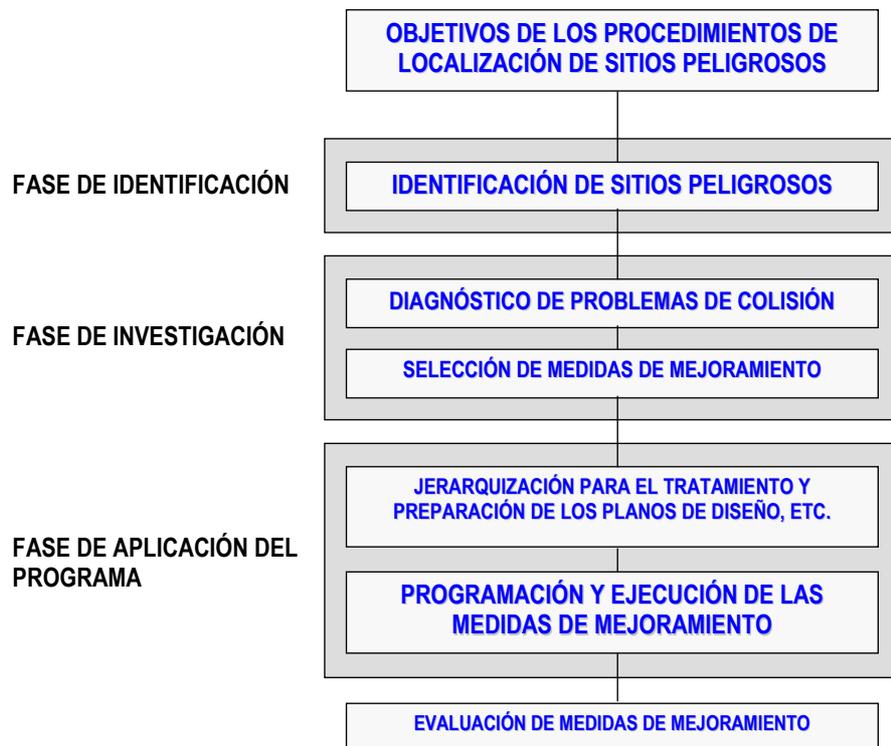
Este programa consta de tres fases principales (Ogden KW, 1996):

*Fase de identificación de los sitios.* Consiste en la ubicación de los sitios con alta incidencia de accidentes.

*Fase de investigación.* En esta fase se tienen dos capítulos importantes: el primero, se refiere a la identificación y diagnóstico de problemas de colisión; y el segundo, a la selección de medidas de mejoramiento de acuerdo con el diagnóstico anterior.

*Fase de aplicación del programa.* Se jerarquizan los sitios para su tratamiento, se preparan los planos de diseño y todo lo relacionado con la propuesta para implementar la medida.

En la Figura 1 se muestra un diagrama con las fases y etapas del programa de identificación y tratamiento de sitios de alta incidencia de accidentes. A continuación se describen algunas de las fases y etapas más relevantes.



**Figura 1. Fases y etapas del programa de identificación y tratamiento de sitios de alta incidencia de accidentes**

### 1.1. Identificación de sitios peligrosos

En México, tradicionalmente se han considerado como sitios peligrosos en la Red Carretera Federal (RCF): (I) los segmentos de menos de un kilómetro con un promedio de 4 o más accidentes por año; y (II) los tramos de menos de 15 kilómetros con un promedio de ocho o más accidentes por año. En ambos casos el promedio corresponde a los últimos 5 años.

Una vez identificados los sitios con base en los criterios anteriores, los saldos en cada sitio se combinan mediante el cálculo de su Número de Accidentes Equivalentes (NAE). Para un sitio peligroso determinado, el NAE se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{NAE} = \text{No. de Accidentes} + (\text{No. de muertos} \times 6) + (\text{No. de Lesionados} \times 2) \quad (1)$$

Dado que los recursos económicos para realizar acciones de mejoramiento en sitios de alta siniestralidad en la RCF están restringidos, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) determina la prioridad en que deben atenderse los puntos de alta incidencia de accidentes con la ayuda de la siguiente expresión:

$$\text{Jerar} = (\text{Costo}) / (\text{IAE}) \quad (2)$$

donde:

Jerar: es el valor que jerarquiza al punto o tramo en orden creciente,

Costo: es el costo total de la solución propuesta en el punto o tramo considerado, y

IAE: es el Índice de Accidentes Equivalentes o NAE por cada millón de vehículos circulando en el punto o tramo analizado.

El modelo selecciona, entre todos los puntos o tramos peligrosos en la RCF, aquéllos que son más apremiantes de ser atendidos por su peligrosidad y su importancia dentro de la RCF, y cuyo mejoramiento tendría una mayor rentabilidad económica.

En el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), la identificación de sitios peligrosos en la RCF se efectúa apoyándose en un Sistema de Información Geográfica (SIG) que maneja un inventario georreferenciado de la RCF, así como las bases de datos anuales de los reportes elaborados por la policía para los accidentes ocurridos en ella (Mendoza et al, 2003). Este SIG permite la identificación de los segmentos y tramos peligrosos así como su jerarquización, según los criterios antes mencionados.

## **1.2. Diagnóstico**

Como se aprecia en la Figura 1, la siguiente fase, después de la fase de identificación es la de investigación. En ésta se debe hacer un diagnóstico de los

problemas, para después seleccionar aquellas medidas que se espera reduzcan la cantidad y/o severidad de los accidentes.

Para llevar a cabo el diagnóstico, primeramente se tiene que saber qué problemas se están presentando, por lo que se necesita recopilar la información de los accidentes reportados; en otras palabras, para establecer un diagnóstico hay que realizar un estudio detallado de lo que ocurre en el sitio en relación con los accidentes.

Para eso se debe contar con las bases de datos de los organismos que levantan información de accidentes. Para el caso de la RCF de México, la principal fuente son los reportes de la Policía Federal Preventiva. Del reporte de un accidente en particular, se obtiene la ubicación del mismo, su tipo, sus causas, las consecuencias, los vehículos involucrados, la hora, el día, etc.

Posteriormente se clasifican los accidentes en el sitio, de acuerdo con las causales más importantes. Como ejemplo, en la Figura 2 se muestra una serie de tablas sobre cómo fueron evolucionando los accidentes de 1996 a 2000, en un sitio en particular en el que se presentan en promedio 50 accidentes por año.

En lo referente a la época en la que se presentan los accidentes, se puede conocer si es en la de lluvias, en período vacacional, etc. También, de acuerdo con el día de la semana, se puede identificar si los accidentes se concentran, por ejemplo, en los fines de semana.

Por su parte, la severidad del accidente en el sitio está en función de las víctimas acaecidas (muertos y/o lesionados).

Año	# Accidentes
1996	60
1997	48
1998	44
1999	66
2000	56
<b>Total</b>	<b>274</b>

## Variables más importantes

Mes	# Accidentes	%
Enero	16	5.8
Febrero	18	6.6
Marzo	24	8.8
Abril	19	6.9
Mayo	25	9.1
Junio	28	10.2
Julio	32	11.7
Agosto	26	9.5
Septiembre	26	9.5
Octubre	12	4.4
Noviembre	21	7.7
Diciembre	27	9.9
<b>Total</b>	<b>274</b>	<b>100</b>

Día	# Accidentes	%
Lunes	28	10.2
Martes	42	15.3
Miércoles	26	9.5
Jueves	37	13.5
Viernes	38	13.9
Sábado	57	20.8
Domingo	46	16.8
<b>Total</b>	<b>274</b>	<b>100</b>

Periodo	# Accidentes	%
Día (7 a 19 h)	186	67.9
Noche (19 a 7)	88	32.1
<b>Total</b>	<b>274</b>	<b>100</b>

Severidad del accidente	N° de accidentes	N° de víctimas
Accidentes con muertos	1	1
Accidentes con lesionados	47	93
Accidentes solo con daños	226	-
<b>Total</b>	<b>274</b>	<b>94</b>

Primer Evento		
Tipo de Accidente	No.	%
Choque vs muro central	85	31.0
Salida del camino a rampa de emergencia	92	33.6
Salida del camino	59	21.5
Choque por alcance	15	5.5
Volcadura sobre la carpeta asfáltica	9	3.3
Otros	14	5.1
<b>Total</b>	<b>274</b>	<b>100</b>

N° de vehículos	Accidentes		Tipo	# Accidentes	%
	N°	%			
1	253	92.3	Automóvil	224	75.2
2	19	6.9	Pick up	7	2.3
3	1	0.4	Vagoneta	7	2.3
4	1	0.4	Motocicleta	1	0.3
<b>Total</b>	<b>274</b>	<b>100</b>	Autobús	6	2.0
			Camión de carga	37	12.4
			Tractocamión de	10	3.4
			Autotanque	1	0.3
			Madrina	1	0.3
			Sin dato	4	1.3
			<b>Total</b>	<b>298</b>	<b>100</b>

Figura 2. Variables y evolución de los accidentes en un sitio

Otro aspecto importante es visitar el sitio, con la finalidad de observar las características geométricas en cuanto a alineamiento horizontal (curva o tangente); alineamiento vertical (curva en cresta o columpio; tangente a nivel, descendente o ascendente); sección transversal, etc.; así como conocer cuáles son los dispositivos de la carretera y dónde están ubicados; el tipo y condiciones de los señalamientos horizontal y vertical; si existe suficiente distancia de visibilidad de parada o rebase; tipo y condiciones de la iluminación; y cuáles son los dispositivos que controlan el tránsito vehicular; entre otros.

Con respecto a las características de las zonas laterales, se debe observar qué propiedades colindantes causan conflicto a la movilidad de los vehículos.

Todos los factores mencionados se deben considerar para realizar un diagnóstico confiable acerca del por qué ocurren los accidentes en el sitio.

También hay que revisar las características operativas, por ejemplo, para un estudio de velocidad de punto en una curva, se toman velocidades a la entrada, a la mitad y a la salida; de esta manera se conoce el comportamiento de los vehículos en toda la longitud de la curva, pudiendo llegar a determinarse entre otras cosas, si los vehículos exceden la velocidad de proyecto o la máxima permitida, y si esto es un factor dominante. Adicionalmente, deben revisarse el aforo y la composición vehicular, así como realizarse cálculos de capacidad vial.

Dentro de los trabajos de gabinete que deben efectuarse están los diagramas de colisión, los cuales son esquemas en los que se grafican los accidentes y se identifican los tipos principales, pudiendo adquirirse de esta manera una idea general de cómo suceden. La Figura 3 muestra un diagrama de colisión en una curva. Los diagramas de colisión se complementan con una serie de tablas con información de cada evento; un ejemplo es la Tabla 1, en la que se describe cuándo ocurrieron los accidentes, las condiciones de luz, el tipo de accidente, la presencia o no de alcohol en el conductor, si el pavimento estaba mojado o seco, entre otros.

El siguiente paso es conocer las condiciones actuales del sitio. Para ello, es necesario generar los planos correspondientes a cómo se encuentra el señalamiento; y condición del trazo, tanto horizontal como vertical.

Posteriormente se analiza toda la información y se identifican los factores que contribuyen a causar el accidente. Lo anterior se refiere a qué acciones de los conductores motivan la ocurrencia de algún tipo de accidente. Asimismo, se revisan las características físicas y operativas que contribuyen a que se realicen ese tipo de maniobras. Por ejemplo, si hay algún retorno a nivel, debe revisarse si los conductores detienen la circulación debido a que no existe un carril de deceleración, lo que provoca impactos por alcance. También debe analizarse qué modificaciones se pueden efectuar para reducir este tipo de acciones y verificar que el señalamiento horizontal y vertical realmente cumpla su función o si es necesario modificarlo.



Otro aspecto importante es conocer las condiciones de iluminación y su influencia en los accidentes, es decir, si la mayoría ocurren durante la noche, en comparación con los que se presentan en el día, considerar, por ejemplo, la posibilidad de incrementar la iluminación y proporcionar una mayor delineación.

### **1.3. Selección de medidas de mejoramiento**

Esta etapa se refiere al desarrollo y selección de alternativas de solución; es decir, con todos los factores identificados atacar el tipo de accidente que prevalece.

Los principales lineamientos a seguir para la generación de las medidas de mejoramiento son:

- Determinar o definir una serie de medidas que puedan influir en los accidentes dominantes y las características del camino.
- Seleccionar medidas que, de acuerdo con la experiencia, se espera reduzcan el número y la severidad (gravedad) de los accidentes de tipo dominante.
- Revisar que estas medidas no tengan consecuencias indeseables en la seguridad ni en la eficiencia del tránsito, o en términos ambientales; por ejemplo, si se recomienda controlar o disminuir la velocidad en algún punto, que esta medida no provoque accidentes por alcance.
- Considerar la rentabilidad de las medidas, o sea que los beneficios se maximicen.
- Que sean eficientes, es decir, que produzcan beneficios que compensen los costos.

Una carretera segura es la que se adecua a las realidades y limitaciones de la toma de decisiones del ser humano. Esto significa que el diseño y la administración del camino (incluyendo su geometría, superficie de rodamiento, sección transversal, señalamiento, dispositivos de control de tránsito, iluminación, etc.), tienen individualmente o en combinación que proporcionar un ambiente seguro al conductor. Es aquella que está diseñada y administrada, de tal forma que:

- Advierta al conductor de cualquier circunstancia inesperada o fuera de lo común.
- Informe al conductor las condiciones que se va a encontrar en el camino.
- Guíe al conductor en segmentos inusuales de la carretera.
- Controle el paso del conductor por puntos conflictivos y tramos carreteros.
- Tolere el comportamiento errante o inapropiado de los conductores.

Consideraciones análogas a éstas pueden aplicarse igualmente a los demás usuarios, como los ciclistas o los peatones. De acuerdo con esto, hay numerosos principios que debieran considerarse en lo que respecta a alternativas para sitios específicos. En general, el ingeniero en seguridad carretera debe intentar satisfacer las necesidades de los distintos tipos de usuarios, así como atacar el patrón de los accidentes en el lugar.

## **2. ALGUNAS DEFICIENCIAS COMUNES**

Las fotografías en las Figuras 4 a 14 muestran algunos ejemplos de algunas deficiencias comunes que se han registrado.

La Figura 4 presenta la falta de continuidad de una barrera metálica lateral, provocada, inclusive, por los mismos pobladores para cruzar la carretera.

Por su parte, en la Figura 5 se muestra un vehículo al centro de la ilustración circulando en sentido contrario, utilizando una salida de una autopista como entrada a la misma. Esta maniobra es un factor para la ocurrencia de accidentes en ese sitio en particular, ya que los conductores no respetan las señales y las disposiciones de la carretera.



**Figura 4. Discontinuidad en una barrera metálica lateral**



**Figura 5. Vehículo en sentido contrario en una rampa de autopista**

En la Figura 6 se observa un caso de derrumbes desde el talud lateral de corte, que son un riesgo cuando las piedras o rocas invaden carriles de circulación. El caso que se muestra es el azolve de la cuneta y, como consecuencia, una deficiencia en el drenaje, lo que significa que al no desalojarse el agua de manera conveniente, esto conlleva a una serie de problemas como el encharcamiento y el acuaplaneo de los vehículos.



**Figura 6. Azolve de una cuneta por derrumbes**

La severidad puede incrementarse por la falta de continuidad de los elementos de contención, como las barreras metálicas. La Figura 7 muestra una curva donde falta la barrera metálica central, prácticamente desde el inicio de la curva. El problema de origen es que se trata de una curva con un radio menor al requerido para la velocidad a la que circulan los vehículos. Consecuentemente los vehículos tienden a salirse de la carretera y, al golpear frecuentemente la barrera que existía, la destruyeron, colocándose una terminal en vez de haberla repuesto.



**Figura 7. Falta de continuidad de una barrera metálica en una curva**

La Figura 8 es una fotografía de la misma curva en la Figura 7, pero ahora de frente. El extremo inferior derecho de la fotografía muestra el sitio donde quedan los vehículos al salirse del camino por no existir ningún elemento de contención. La colocación de estos dispositivos no va a disminuir la ocurrencia de accidentes, sino sólo su severidad, si se colocan apropiadamente. En el caso mostrado en las Figuras 7 y 8, al ser la mayoría de los accidentes por salida del camino, esto sugiere la necesidad de revisar los alineamientos horizontal y vertical, además de continuar la barrera de contención a lo largo de la curva.



**Figura 8. Sitio donde se detienen los vehículos que se salen por falta de continuidad en la barrera metálica en una curva**

La Figura 9 corresponde a un vehículo pesado estacionado sobre un carril de deceleración en una autopista, utilizado para salir a una gasolinera. Nótese una señal fuera de especificaciones y en malas condiciones, y que junto al carril hay un expendio de alimentos. El punto a destacar es el riesgo que se presenta para los conductores y peatones cuando los vehículos se estacionan a la orilla de la carretera, o sobre el acotamiento para consumir los alimentos, obstruyendo el carril de deceleración e, incluso, el de circulación.



**Figura 9. Invasión de un carril de deceleración en una autopista**

La Figura 10 hace referencia a puestos ambulantes o semifijos, los cuales con el tiempo se convierten en fondas y hasta restaurantes que, por no contar con espacio para sus clientes, se obliga a que los vehículos se estacionen en el acotamiento. Por otro lado, en el puesto se corre otro tipo de riesgos, ya que para separar y proteger el negocio del tránsito vehicular, solamente existe una malla de alambre y unos postes de concreto, por lo que si algún vehículo perdiera el control en ese lugar y saliera del camino, las personas en dicho negocio podrían resultar lesionados al no existir un dispositivo de contención.



**Figura 10. Venta de alimentos junto a la carretera**

Otro aspecto importante en la seguridad carretera son las obras de drenaje. En la Figura 11 se observa una alcantarilla sin protección, la cual, llegado el caso de que un conductor perdiera el control de su vehículo momentáneamente, no podría evitar caer en ella.

Como se mencionó, el buen uso de los elementos de contención resulta de vital importancia para reducir la severidad de los accidentes. A continuación, se muestra una serie de fotografías sobre deficiencias al respecto.

En la Figura 12 se observa la falta de tornillos en la barrera metálica para lograr una correcta transición entre una pieza y otra, y para una transferencia adecuada de esfuerzos. La barrera sólo está colocada con el tornillo que la sujeta al poste. Cuando un vehículo impacta en una barrera así, ésta o los tornillos cederán, haciendo fallar el sistema.



**Figura 11. Alcantarilla sin protección**



**Figura 12. Barrera sin tornillos de unión entre sus elementos**

Otra falla común se da en los traslapes entre segmentos de barrera metálica, cuando la hoja que da hacia el tránsito queda en dirección contraria al sentido del mismo, de manera que si un vehículo se proyecta contra la barrera, dicha hoja frecuentemente termina penetrándolo.

La Figura 13 muestra la discontinuidad entre una barrera metálica y un puente. En este caso no hay una conexión apropiada con la barrera del puente.



**Figura 13. Falta de un elemento de transición entre la barrera metálica y el puente**

La Figura 14 presenta un detalle de la inadecuada altura de una barrera metálica, producto de constantes encarpetados, lo cual ocasiona que los vehículos sobrepasen la barrera al momento del impacto, o provoque su vuelco, ocasionando una mayor severidad del accidente.



**Figura 14. Altura inadecuada de la barrera**

### **3. CONCLUSIONES**

En este trabajo se ha presentado una metodología desarrollada y utilizada por el IMT para la identificación y desarrollo de medidas de mejoramiento de sitios peligrosos en la RCF de México. Se considera que las acciones que mayores beneficios han rendido en los últimos años en materia de mejoramiento de la seguridad vial en la RCF de México, es la inversión en construcción de autopistas y en la modernización y conservación de las carreteras existentes, así como en el mejoramiento de los sitios de mayor incidencia de accidentes.

#### 4. BIBLIOGRAFÍA

Ogden KW. 1996. **Safer Roads: A Guide to Road Safety Engineering**. Avebury Technical, Inglaterra.

Mendoza A, Quintero FL y Mayoral EF. 2003. **Sistema de Información Geográfica de Accidentes en Carreteras Federales (SIGA)**. Coloquio de Especialidades de la Academia de Ingeniería, San Luís Potosí, México.

#### CURRÍCULUM VITAE DE LOS AUTORES

##### OCTAVIO AGUSTÍN RASCÓN CHÁVEZ

Ingeniero Civil, Maestro en Ingeniería y Doctor en Ingeniería por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Fue jefe del posgrado y Director de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, en la que actualmente, desde hace 43 años, es catedrático. También fue investigador y subdirector del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Actualmente es Director General del Instituto Mexicano del Transporte. Ha publicado 126 trabajos de investigación original y 11 libros de texto. Ha recibido nueve premios y reconocimientos por su trabajo académico; los tres más recientes son: Premio Nacional al Mejor Artículo Técnico, y el Premio Nacional a la Investigación, ambos otorgados por el Colegio de Ingenieros Civiles de México, y nombrado Doctor Honoris Causa por el Consejo Iberoamericano en Honor a la Excelencia Educativa, en Lima, Perú en 2004. Es Presidente Electo de la Academia de Ingeniería de México y miembro de la Academia Mexicana de Ciencias.

##### ALBERTO MENDOZA DÍAZ

Nació en Villahermosa, Tab., el 14 de noviembre de 1956. Obtuvo el grado de Ingeniero Civil, con mención honorífica, en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM). Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Civil en la Universidad de Texas en Austin, en agosto de 1983. Obtuvo el grado de Doctor en Ingeniería, también en la Universidad de Texas en Austin, en

agosto de 1986. Cursó en 2004 el Diplomado en Logística en el ITESM - Campus Estado de México. Entre 1986 y 1990 trabajó en varias firmas de consultoría de transporte, tanto nacionales como internacionales. Ha trabajado en el Instituto Mexicano del Transporte en los últimos 17 años, en el cual ocupa actualmente el cargo de Coordinador de Seguridad y Operación del Transporte.

#### EMILIO FRANCISCO MAYORAL GRAJEDA

Es mexicano, ingeniero civil con estudios de posgrado en Infraestructura de Transportes en Lyon, Francia. Su experiencia laboral se enfoca al sector transporte, colaborando con empresas privadas nacionales e internacionales. Tiene más de 19 años formando parte del grupo de investigadores del Instituto Mexicano del Transporte. Su productividad es publicada en documentos y revistas técnicas. Participa en congresos y seminarios técnicos. Respecto a la experiencia en la docencia, ha sido profesor de tiempo libre en diferentes universidades en México impartiendo materias en la rama de Ingeniería Civil y en las maestrías de Vías Terrestres e Ingeniería de Tránsito, así como en el asesoramiento de tesis.