



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Estudio de Caso: Evaluación de la
Rampa de Emergencia para Frenado
ubicada en el km 39+800 de la carretera
federal México – Toluca, ruta MEX 015**

TESIS

Que para obtener el título de

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

CHRISTIAN ALAN CASTRO ARELLANO

DIRECTOR DE TESIS

M.C. SERGIO GERMÁN HERRERA DEL ÁNGEL



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2024

Dedicatoria

A mis padres y hermanos, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Me formaron con reglas y algunas libertades, pero al final de cuentas me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

A Marisol y su familia, quienes fueron fundamentales durante este proceso para impulsarme a terminar lo ya iniciado, sin sus palabras de aliento y su confianza no habría logrado concluir esta etapa de mi vida, y que en tan poco tiempo forman parte ya de mi familia.

A mis compañeros y amigos, por su orientación durante este trabajo con su gran experiencia en la materia, así como por su gran amistad y apoyo en los momentos que más lo necesitaba.

A mi director y profesores, por su guía y apoyo durante todo el proceso de realización de mi tesis. Su experiencia y conocimiento fueron fundamentales para llevar a cabo este trabajo de investigación.

A toda persona interesada en este trabajo, ojalá sea de utilidad para aquellos que busquen el mejoramiento en la seguridad vial de las carreteras en nuestro país.

Índice de contenido

Introducción	1
Capítulo I: MARCO HISTÓRICO DE LA SEGURIDAD VIAL EN EL CAMINO.	5
1.1 El 1er Decenio de Acción para la Seguridad Vial. (2011 – 2020)	9
1.2 El 2 ^{do} Decenio de Acción para la Seguridad Vial. (2021 – 2030).....	15
1.3 Ley General de Movilidad y Seguridad Vial.....	27
Capítulo II: LA RED CARRETERA FEDERAL	31
2.1 Marco Histórico.....	31
2.2 Clasificación.....	38
2.2.1 Administrativa.....	39
2.2.2 Nomenclatura	41
2.2.3 Según su importancia	41
2.2.4 Normativa.....	42
2.2.5 Según su función	45
2.2.6 Observado en la práctica.	48
Capítulo III: ELEMENTOS BÁSICOS DEL DISEÑO GEOMETRICO DE UNA CARRETERA	51
3.1 Normativa aplicable en materia de proyecto geométrico.	54
3.1.1 Normas de Servicios Técnicos, Proyecto Geométrico edición 1984.....	55
3.1.2 Manual de Proyecto Geométrico en Carreteras, 2018 (MPGC,2018)	57
3.2 Desarrollo del proyecto geométrico	59
3.2.1 Planeación (Anteproyecto)	62
3.2.2 Proyecto Geométrico.....	65
3.2.5 La Seguridad desde el diseño	80
Capítulo IV: LAS RAMPAS DE EMERGENCIA PARA FRENADO	87
4.1 Normativa aplicable en materia de diseño de rampas de emergencia.	89
4.1.1 Normativa para la Infraestructura del Transporte (NIT N-PRY-CAR-10-04-007).....	90
4.1.2 Normas Oficiales Mexicanas (NOM-036-SCT2-2009 y NOM-036-SCT2-2016).....	92
4.2 Características generales de las Rampas de emergencia para frenado	94
4.3 Diseño de rampas de emergencia para frenado	99
4.4 Panorama actual de las rampas de emergencia para frenado en México.....	112
Capítulo V: ESTUDIO DE CASO	119
Capítulo VI: CONCLUSIONES	173
Bibliografía.....	194
GLOSARIO.....	196
ANEXOS.....	198

Índice de Figuras

Figura 1. Resultados del Primer Decenio de Acción para la Seguridad Vial (2011 – 2020)	13
Figura 2. Víctimas fatales en siniestros de tránsito por tipo de usuario en la vialidad.	14
Figura 3. Vehículos registrados en circulación (2015 – 2020). STCONAPRA.....	15
Figura 4. Metas y pilares del Segundo Decenio de Acción por la Seguridad Vial 2021 - 2030..	23
Figura 5. Clasificación administrativa de los caminos.....	40
Figura 6. Clasificación por importancia del camino de acuerdo al MPGC, 2018	42
Figura 7. Clasificación según su función	47
Figura 8. Crecimiento de la longitud de la Red Nacional de caminos.	53
Figura 9. Elementos que componen una rampa de emergencia para frenado, NOM-036-SCT2-2016.....	95
Figura 10. Disposición en corte de la cama de frenado de rampas de emergencia para frenado, NOM-036-SCT2-2016.	96
Figura 11. Esquema de Rampa de montículo, NOM-036-SCT2-2016.....	97
Figura 12. Esquema de Rampa Descendente, NOM-036-SCT2-2016	97
Figura 13. Esquema de Rampa Horizontal, NOM-036-SCT2-2016.....	98
Figura 14. Esquema de Rampa Ascendente NOM-036-SCT2-2016.	98
Figura 15. Corte longitudinal de la cama de frenado en rampas de emergencia tipo RE-2, RE-3 y RE-4, NOM-036-SCT2-2016.....	103
Figura 16. Corte longitudinal y trasnversal de la cama de frenado en rampas de emergencia tipo RE-1, NOM-036-SCT2-2016.....	103
Figura 17. Señalamiento Horizontal para indicar el acceso a la rampa de emergencia para frenado, NOM-036-SCT2-2016.	107
Figura 18. Plano tipo de señalamiento instalado de acuerdo a la normativa, NOM-036-SCT2-2016.....	110
Figura 19. Croquis de señalamiento para el acceso a la rampa de emergencia para frenado km 39+800.....	168

Índice de Tablas

Tabla 1. Evolución del valor estadístico de la vida, 2010 – 2018, Programa Sectorial SICT (2020 – 2024).....	25
Tabla 2. Tipos de carreteras y características principales.	44
Tabla 3. Tipo de Carretera de acuerdo a la clasificación en las Normas de Servicios Técnicos, Proyecto Geométrico edición 1984	56
Tabla 4. Resistencia a la rodadura, expresada en término de pendiente equivalente, (AASHTO, 2011).....	101
Tabla 5. Características de las curvas PI-1 a PI-7, previas a la rampa.	132
Tabla 6. TDPA en el tramo de estudio, Datos Viales, DGST.	135
Tabla 7. Obtención de Tasa de crecimiento en el tramo.	139
Tabla 8. TDPA del sitio 13 km posteriores a la primera estación por SICT Datos Viales.	141
Tabla 9. Obtención de Tasa de crecimiento en el sitio 13 km posteriores a la primera estación.	141
Tabla 10. Obtención de la Tasa de Crecimiento a través de los datos viales disponibles del año 2003 a 2019.	144
Tabla 11. TDPA futuro a 20 años en el tramo T.Der. Huixquilucan, km 33+980.....	146
Tabla 12. Resumen de accidentabilidad en el tramo del km 35+000 al km 40+000, del año 2008 al año 2021.	154
Tabla 13. Clasificación de accidentes en el km 35+000 al km 40+000, del año 2015 al año 2021	155
Tabla 14. Sitios de la carretera México - Toluca donde se alcanza la velocidad máxima de 140 km/h.....	160
Tabla 15. Tabla resumen de los aspectos de ubicación con las que cumple la rampa de emergencia para frenado del kilómetro 39+800.....	174
Tabla 16. Tabla resumen de los aspectos geométricos con los que cumple la rampa de emergencia para frenado del kilómetro 39+800.....	175
Tabla 17. Tabla resumen del aspecto del equipamiento con el que cumple la rampa de emergencia para frenado del kilómetro 39+800.....	177

Índice de Imágenes

Imagen 1. Principales causas de mortalidad; datos comparados de 2004 y pronósticos de 2030 por World Health Organization (WHO), Estadísticas sanitarias mundiales 2008.	7
Imagen 2. Principales causas de defunción en países de ingresos bajos, 2019 por World Health Organization (WHO), Global Health Estimates, 2020.....	11
Imagen 3. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2020	16
Imagen 4. Isotipos de los 12 objetivos globales de desempeño en Seguridad Vial por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2020.....	18
Imagen 5. Plan Mundial “Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2021 -2030 por la Organización Mundial de la Salud, 2020.	21
Imagen 6. Jerarquía de la Movilidad por la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), 2022	28
Imagen 7. Los 15 Corredores Carreteros en México por Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2023	38
Imagen 8. Ejemplo de Señales Informativas de Identificación en carreteras, por la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes, Manual de Señalización Vial y Dispositivos de Seguridad, 2014.....	41
Imagen 9. Etapas de los movimientos de recorrido por Instituto Mexicano del Transporte, 2020.	45
Imagen 10. Ejemplo de la carretera Ciudad Alemán – Sayula que no cumple con la clasificación técnica indicada en el MPGC 2018, elaboración propia a través de Google Earth.....	49
Imagen 11. Elementos de la curva circular simple por la SICT, Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras (MPGC), 2018.....	68
Imagen 12. Elementos de la curva circular con espirales de transición por la SICT, MPGC, 2018.	69
Imagen 13. Dimensiones y trayectoria de giro de algunos vehículos de proyecto por la SICT, MPGC, 2018.....	71
Imagen 14. Elementos de la curva circular vertical en cresta por la SICT, MPGC, 2018.	73
Imagen 15. Variación de la temperatura en función de la longitud del tramo y la pendiente descendente, por la SICT, MPGC, 2018.	75
Imagen 16. Clasificación por estrellas por International Road Assessment Programme (iRAP), 2020.....	85
Imagen 17. Resultados del proyecto iRAP-México 2012 por Instituto Mexicano del Transporte, Centeno y Urzúa (2014)	86
Imagen 18. Comparativa entre la NOM-036-SCT2 del año 2009 y 2016, elaboración propia...	112
Imagen 19. Rampa de emergencia para frenado ubicada en el Libramiento Norte de la CDMX con surcos longitudinales.	117
Imagen 20. Vehículo volcado en la cama de frenado con surcos longitudinales por elsoldeorizaba.com.mx	117

Imagen 21. Relieve terrestre de la zona donde se encuentra la rampa de emergencia para frenado por INEGI.....	120
Imagen 22. Hidrología de la zona donde se encuentra la rampa de emergencia para frenado por INEGI,.....	121
Imagen 23. Clima de la zona donde se encuentra la rampa de emergencia para frenado por INEGI,.....	121
Imagen 24. Perfil longitudinal del tramo Lim. Edos. Term. CDMX Ppia. Méx. - X.C Amomolulco – Santiago Tianguistenco (km 34+200 – 47+260), obtenido a través de Google Earth.	122
Imagen 25. Sección transversal de la carretera México – Toluca, km 37+500.....	123
Imagen 26. Curva PI-1 simple izquierda ubicada en el km 36+120.14.	124
Imagen 27. Curva PI-2 Simple - derecha ubicada en el km 37+034.89.....	126
Imagen 28. Curva PI-3 Simple - izquierda ubicada en el km 37+851.45.	126
Imagen 29. Curva PI-4 Simple - derecha ubicada en el km 38+230.76.....	127
Imagen 30. Curva PI-5 Simple - izquierda ubicada en el km 38+708.18	128
Imagen 31. Curva PI-6 Simple - derecha ubicada en el km 38+708.18.....	129
Imagen 32. Curva PI-7 Simple - izquierda ubicada en el km 39+607.	130
Imagen 33. Acceso a rampa de emergencia para frenado km 39+800.....	131
Imagen 34. Nivel de servicio de la carretera México – Toluca, año 2021 por la SICT.	137
Imagen 35. Nivel de servicio de la carretera México – Toluca, año 2022 por la SICT.	137
Imagen 36. Croquis de localización de ambas estaciones de aforo por Google Earth y Datos Viales.....	140
Imagen 37. Tablas de tasas de crecimiento obtenidas en carreteras federales libres por la SICT, año 2020.	143
Imagen 38. Tablas de tasas de crecimiento obtenidas en carreteras federales libres por la SICT, año 2021.	143
Imagen 39. Accidentabilidad en el tramo México – Toluca (35+000 – 40+000), año 2012.	150
Imagen 40. Accidentabilidad en el tramo México – Toluca (35+000 – 40+000), año 2011.	150
Imagen 41. Accidentabilidad en el tramo México – Toluca (35+000 – 40+000), año 2010.	151
Imagen 42. Ubicación de la rampa de frenado, año 2012.	152
Imagen 43. Accidentabilidad en el tramo México – Toluca (35+000 – 40+000), año 2013.	153
Imagen 44. Reubicación de la rampa de emergencia para frenado de la carretera México – Toluca.....	153
Imagen 45. Velocidades de punto en carretera México – Toluca, año 2021.	156
Imagen 46. Entorno del punto ubicado en el km 39+235 por Google Earth.....	161
Imagen 47. Características geométricas de la rampa de emergencia existente.....	164
Imagen 48. Perfil longitudinal de rampa de emergencia para frenado y cama de frenado, km 39+800.....	164
Imagen 49. Perspectiva de diferentes ángulos del término de la cama de frenado, desde la carretera libre de peaje México – Toluca (arriba), desde la autopista de cuota México – Toluca (abajo).....	166

Imagen 50. Señalamiento vertical en conjunto con anuncios espectaculares, km 37+680	167
Imagen 51. Condiciones del señalamiento horizontal instalado.	169
Imagen 52. Fotografías publicadas por Digitalmex, así como por usuarios de redes sociales respecto a los accidentes ocurridos en la rampa de emergencia para frenado del km 39+800	171
Imagen 53. Fotografía tomada por el medio digital “La razón de México”, se observa el choque de dos tráileres en la entrada a la rampa del kilómetro 39+800.	172
Imagen 54. Propuesta 1, Modernización de la Rampa de Emergencia para Frenado actual.....	178
Imagen 55. Propuesta número 1, aspectos geométricos destacables.....	179
Imagen 56. Vistas de las áreas con posible afectación con la construcción de la propuesta 1. ..	181
Imagen 57. Sección transversal esperada (arriba) y sección transversal indicando un volumen para construcción de cama de frenado y camino de servicio (abajo).....	182
Imagen 58. Propuesta 2. Reubicación de la Rampa de emergencia para frenado al km 39+100.	183
Imagen 59. Propuesta número 2, aspectos geométricos destacables.....	184
Imagen 60. Áreas con afectación de la propuesta 2, accesos irregulares, estructuras inhabilitadas, establecimientos en las orillas del camino, torre de luz eléctrica y parador existente.	186
Imagen 61. Vista satelital del trazo de la rampa propuesta en el km 39+100.	187
Imagen 62. Sección transversal conceptual de la propuesta 2.	188
Imagen 63. Propuesta 3, Adecuación del señalamiento vertical y horizontal del tramo.....	190

Introducción

Actualmente en México, el modo de transporte que más se utiliza para la movilización de mercancías y personas es el medio carretero, tan solo en 2021 se reportaron 3 147^[1] millones de pasajeros movilizados a través de este medio, en comparación con los 80 millones^[1] que reportó el modo aéreo; para el mismo año, en el transporte de mercancías se trasladaron 534 millones de toneladas^[1] por medio carretero y 130 millones^[1] a través del ferroviario. La Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT) en el año 2021 publicó en el *Anuario estadístico del Sector de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes* que la Red Federal de Carreteras tiene una longitud de 401 366 km lineales de los cuales 10 912 km pertenecen a la Red de Autopistas de Cuota y 40 516 km a la Red Libre de Peaje. El movimiento de carga carretero tiene numerosas ventajas, entre las que se encuentra la flexibilidad en los puntos de origen y destino, pero también tiene serias desventajas, como la convivencia en un mismo espacio de circulación de vehículos con características muy distintas entre sí (tamaño, peso, mecánica de operación, etc.) y la mayor fatiga a la estructura de la superficie de rodamiento.

Dada la importancia de la infraestructura carretera y su desarrollo para adaptarse a las necesidades actuales, las carreteras han evolucionado drásticamente, por lo que ahora la seguridad vial juega un papel importante en su diseño, así como la implementación de tecnologías para el continuo monitoreo del camino; Por otro lado, en el caso de carreteras que se encuentran en operación ha sido necesario la implementación de medidas correctivas en términos de seguridad vial, que consisten en identificar los sitios de alto riesgo mediante el estudio de siniestros viales en la zona durante el tiempo en operación y posteriormente implementar mejoras en la infraestructura vial. Asimismo, de entre las medidas para evaluar la seguridad vial se encuentran las Auditorías de Seguridad Vial en carreteras que poseen índices de accidentabilidad elevados, así como condiciones que ponen en peligro al usuario.

Sin embargo, la aparición de siniestros viales a consecuencia de una falla en el sistema de frenado de un vehículo de carga en carreteras con pendientes descendentes exigentes no es tan común como otro tipo de percances. Esto puede ser atribuido en parte a que los conductores profesionales encargados de la operación de vehículos pesados conocen esta problemática y están capacitados para enfrentarla. Bajo este escenario, los problemas podrían surgir cuando el factor vehículo se encuentre en malas condiciones y aparezca una falla que desencadene el “accidente” o cuando el conductor no cuente con dicha experiencia. Para evitarlos y evitar que se tengan pérdidas humanas, se deberá dotar a la infraestructura carretera de dispositivos que transmitan seguridad al usuario de utilizarlos sin temor alguno.

Los vehículos que se desplazan en pendientes prolongadas son los más propensos a sufrir de fallas en el sistema de frenado, la pérdida de frenos implica que el vehículo quede fuera de control y

^[1] Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes (2021). *Anuario Estadístico del Sector Infraestructura, Comunicaciones y Transportes 2021*

queda sin la posibilidad de detenerse de manera controlada debiendo realizar maniobras arriesgadas para evitar impactarse o salir del camino. El problema es mayormente notorio en los vehículos de carga debido al peso propio del vehículo y que es amplificado por el peso de la carga que transportan, por lo que los conductores utilizan el denominado “freno de motor”, que consiste en mantener el vehículo embragado en una relación de marcha baja circulando a una baja velocidad, a pesar de esta medida el sistema de frenado seguirá siendo utilizado como el medio principal para detener al vehículo por lo que su uso constante en pendientes prolongadas seguirá siendo un riesgo.

Para evitar la realización de maniobras que pongan en riesgo la vida otros usuarios, se construyen los dispositivos de seguridad denominados “Rampas de emergencia para frenado”. Estas rampas de emergencia han sido implementadas en nuestro país donde se tienen sitios que poseen un alto índice de accidentes y que estos hayan sido generados por falla en el sistema de frenado del vehículo.

Las rampas de emergencia para frenado surgieron para evitar la ocurrencia de siniestros viales donde vehículos de motor perdían la capacidad de frenado y, consecuentemente, el control sobre la velocidad, en carreteras con pendientes descendentes sostenidas. Las primeras rampas trataron de emular las condiciones que buscaban los conductores que se habían enfrentado a la pérdida de control sobre el frenado, con el fin de detener sus vehículos, como tomar una salida con pendiente en ascenso o colisionar de frente con algún montículo de material a las orillas del camino. Fue así como surgieron las rampas de gravedad y las rampas de montículo (primeros tipos de rampas de emergencia para frenado). Hoy en día estos dos tipos de rampas no son las más recomendadas. Por lo anterior se tiene la necesidad de que las rampas cuenten con los parámetros necesarios que brinden de seguridad y confianza al usuario para su uso y evitar de esta manera que sean utilizadas maniobras que pongan en riesgo la vida de otros usuarios en la vía.

No obstante, los usuarios han evitado el uso de estos dispositivos por diversas situaciones, presentándose un aumento en la frecuencia de siniestros de tránsito donde la falla en el sistema de frenado es el factor determinante que origina un siniestro; en 2018 se habían registrado en la Red Carretera Federal (RCF) 156 siniestros viales^[2] en los que la principal causa que originó el hecho fue por una falla en el sistema de frenado, para esta misma causa, en el año 2019 se tuvo el registro de 117 hechos por esta misma causa, en el año 2020 dadas las condiciones restrictivas por las que el país pasaba debido a la contingencia sanitaria fueron registrados 139 incidentes superando al año anterior con 22 hechos aún con el bajo flujo vehicular en las carreteras del país, para el año 2021 se tuvieron registrados 298 siniestros viales^[2] significando un aumento casi al doble en comparación al año 2018 y que demuestra el creciente número de casos en los que se presentan averías en los sistemas de frenado de los vehículos.

El contenido de este trabajo se divide en 5 capítulos, en los cuales se desarrollará lo siguiente:

^[2] Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes. Instituto Mexicano del Transporte. *Estadística de accidentes de tránsito[2000-2021]*

El Capítulo I aborda el panorama general de la Seguridad Vial en el mundo; el desarrollo de estrategias para salvaguardar la vida de los usuarios en las vías desde la invención de los vehículos automotores, así como los principales hitos e innovaciones en el equipamiento vial el cual no se limita a los dispositivos que se instalan en los caminos, sino también en los vehículos, como la principal herramienta de movilidad terrestre de los individuos; de igual manera, se visibiliza la creciente preocupación por la ocurrencia de siniestros viales y sus repercusiones en la vida de aquellos implicados en estas situaciones así como las consecuencias económicas y de salud en el país, que se traducen principalmente a grandes pérdidas monetarias, reiterándose la necesidad de implementar medidas que resuelvan el problema íntegramente; siendo la declaración del inicio de los Decenios de Acción para la Seguridad Vial una medida crítica para alentar a los Estados Miembros de la ONU en apoyar los esfuerzos y crear un compromiso político para la atención de este problema de salud pública en el mundo. Siendo México uno de los países miembro, se mencionan aquellas acciones que ha implementado para lograr los compromisos pactados y las metas alcanzadas hasta el momento.

En el capítulo II se desarrolla un breve marco histórico de los caminos en México, comenzando desde la llegada del primer vehículo a México, lo cual generó un “boom” mediático donde los automóviles tuvieron un gran auge en sus ventas y a su vez una gran aceptación por parte de la población, al facilitar la movilidad en las pequeñas ciudades, de modo que con ello se incrementó la necesidad de más caminos por donde circular y que conectarán con algunas otras ciudades de manera rápida; esto conllevaría además otra serie de necesidades para una correcta administración y construcción de estas obras las cuales tenían que ser llevadas a cabo por una institución especializada y enfocada en esta infraestructura, dando lugar a la creación de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, actualmente Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes, la cual su principal misión es la planeación, construcción, conservación y administración de los caminos federales en México y que en vista del gran crecimiento de las vialidades en el país hasta la actualidad, fue necesario el desarrollo de una clasificación que favorezca a una adecuada agrupación de los caminos y facilite su identificación y el servicio que puede brindar a los usuarios, y que además, estos cumplan con las funciones y características establecidas en dicha clasificación por parte de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT).

En el capítulo III, se tratarán los elementos geométricos que inciden en la seguridad vial que son el Alineamiento Horizontal y Alineamiento Vertical, elementos que están condicionados por el relieve y estado natural de la región por donde se propone un nuevo trazo de vialidad, por lo consiguiente los riesgos propios de un trazo limitado a las condiciones propias de la naturaleza, sin embargo estos pueden ser aminorados con una correcta aplicación de los criterios de seguridad vial; con ese fin se explicará de manera resumida en lo que consisten estos dos alineamientos y su importancia, tomando como referencia el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras del año 2018 y Normas de Servicios Técnicos en materia de Proyecto Geométrico del año 1984; siendo estas dos fuentes las principales para el diseño de caminos en los últimos 40 años en México.

Además, se enlistarán algunos de los aspectos o atributos más importantes que no se deben dejar de lado durante la etapa de Planeación o Anteproyecto de una obra carretera, siendo la seguridad desde esta etapa el aspecto que cobra mayor relevancia en el presente y futuro de la infraestructura, y con el que, en combinación con el trazo propuesto del proyecto, determine la necesidad de instalación o construcción de dispositivos de seguridad.

El capítulo IV describe la normativa existente en materia de planeación y construcción de rampas de frenado para emergencia, siendo la Normativa para la Infraestructura del Transporte (NIT) emitida por la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes, la primera en regular las características de estos dispositivos sentando un precedente para posteriormente la publicación de la Norma Oficial Mexicana (NOM), la cual es de observancia obligatoria. Así mismo, se estudiarán las versiones históricas de la NOM-036-SCT2 publicadas hasta la actualidad para observar el desarrollo de la normatividad integrando los nuevos avances tecnológicos; adicionalmente, se abordará una publicación realizada por el Instituto Mexicano del Transporte sobre la percepción que tienen los conductores del sector de autotransporte del uso de una rampa de emergencia para frenado, tomando como base a 51 personas encuestadas del sector de autotransporte federal, con lo que se obtiene una perspectiva como usuario de las vialidades, y que con base en su experiencia podemos mejorar esa percepción que es muy importante para asegurar el uso de estos dispositivos.

En el capítulo V se lleva a cabo el estudio de caso, con objeto de establecer una referencia para el análisis de otras rampas ya existentes; este análisis será llevado a cabo estudiando los factores más relevantes y que pueden incidir en la accidentabilidad del sitio, siendo una carretera muy transitada y con un trazo complicado debido a las condiciones naturales de la región, así mismo la normativa con la que fue diseñada no contemplaba algunos criterios de seguridad que actualmente se tienen que considerar; de la misma manera se revisará conforme a la normativa vigente en materia de construcción y diseño de las rampas de emergencia para frenado que los elementos que compongan esta rampa, cumplan con los criterios establecidos en la normativa por lo que toda la información descrita previamente en este trabajo.

Capítulo I: MARCO HISTÓRICO DE LA SEGURIDAD VIAL EN EL CAMINO.

La seguridad vial^[3] se refiere a las medidas adoptadas para reducir el riesgo de lesiones y muertes causadas por el tránsito, a través de proyectos que conformen un entorno más seguro, accesible, y sostenible para los sistemas de transporte y para todos los usuarios, por lo que podría considerarse como un mosaico de normas diseñadas con el fin de prevenir accidentes de tránsito y minimizar sus consecuencias, encaminadas a la responsabilidad de las personas conductoras como la de las personas peatonas cuando circulan por las vías públicas, considerando las tecnologías instaladas en los vehículos, como dispositivos que procuran una mayor seguridad al pasajero y a su entorno.

William Phelps Eno, un hombre de negocios norteamericano, es considerado como el “Padre de la Seguridad Vial” dadas sus aportaciones en las innovaciones publicadas para el control del tráfico, se le atribuyen avances como la implantación del paso peatonal, la glorieta, la calle de sentido único e incluso, las paradas de taxis; su obra *“Rules of the Road”*, fue adoptada por la ciudad de Nueva York en 1909 y se convirtió en el primer plan de tránsito urbano de la ciudad y de la propia policía.

Otro gran avance para el control del tránsito en las grandes ciudades fue el semáforo, un dispositivo que emite señales luminosas que indican quién debe pasar o detenerse, en el caso de un peatón cuándo debe cruzar una calle o en el caso de un conductor cuándo debe esperar porque es el turno de los peatones o cuándo circular. Siendo este uno de los dispositivos de mayor importancia para lograr una armonía entre los usuarios de la vialidad.

El primer gran paso fue dado en el año 1868 por John Peake Knight, un inventor inglés, quien presentó un dispositivo revolucionario para el control del tráfico; su diseño consistía en dos brazos verticales y con dos lámparas de gas. De día, cuando el brazo estaba en posición vertical indicaba “seguir” y cuando estaba en posición horizontal indicaba “parar” y de noche se utilizaban las lámparas de gas con los colores verde para “seguir” y rojo para “parar”, accionadas de forma manual por un policía. Sin embargo, unos meses después de su instalación, una explosión accidental hirió al policía encargado de su funcionamiento y con ello fue retirado.

Posteriormente, Garrett Augustus Morgan un gran emprendedor que radicaba en Cleveland, Estados Unidos; luego de presenciar un accidente en una intersección, desarrolló un semáforo automático que a diferencia de otros incluía una señal de advertencia, este sistema fue patentado en el año de 1923 para luego vender los derechos a General Electric; el semáforo constaba de brazos plegables con "stop" y "go" escritos en letreros que estarían situados en un poste por encima del tránsito, las señales también podrían elevarse a la mitad para indicar precaución en el futuro,

^[3] Organización Mundial de la Salud. Organización Panamericana de la Salud (OPS). *Seguridad Vial*. <https://www.paho.org/es/temas/seguridad-vial>

este sistema se considera como el predecesor del uso moderno de una señal amarilla para indicar precaución.

En ese mismo año la *Asociación de Departamentos Estatales de Carreteras del Valle de Mississippi* (Mississippi Valley Association of State Highway Departments) desarrolló un influyente conjunto de recomendaciones sobre las formas de las señales viales cuyo impacto sigue estando vigente.

Dichas recomendaciones se basaron en los cálculos de personal de ingeniería, que concluyeron que el nivel de peligro viene determinado por el número de lados en los señalamientos. Por lo tanto, el círculo se situaría como representante del mayor nivel de peligro, seguido del octágono (STOP) y del triángulo (disminución de la velocidad). El cuadrado estaría destinado a los mensajes de precaución mientras que el rectángulo haría las veces de mensaje informativo direccional.

El desarrollo no solo se dio en los dispositivos de control y señalamiento, sino que también la industria automovilística también tiene un papel relevante en todo este proceso, y es que conseguir que los coches fueran lo suficientemente seguros para sus ocupantes, fue fundamental para que la seguridad vial continuara avanzando. En 1930 salieron al mercado los primeros coches con frenos hidráulicos y marcos de acero, y en 1959 Volvo empezaba a instalar uno de los recursos de seguridad pasiva más importantes: el cinturón de seguridad de tres puntos, con el cual se estima que reduce en un 90% el riesgo de fallecer en caso de choque frontal y hasta la mitad en un alcance.

El creciente flujo vehicular, así como de los diversos modos de transporte, aunados al crecimiento demográfico, repercuten directamente en la importancia de la seguridad vial, pues todas y todos formamos parte del sistema de movilidad de algún modo.

En el año 2009, la Organización Mundial de la Salud publicó el *Informe sobre la situación mundial de la Seguridad Vial* el cual buscaba concientizar a los gobiernos y sociedad en general, del daño provocado por los siniestros de tránsito y sus repercusiones; se estimaba que todos los años, más de 1,2 millones de personas (más de 3,000 personas diariamente) perdían la vida como consecuencia de accidentes en las vías de tránsito y nada menos que otros 50 millones quedaban con lesiones.

Se esperaba que para 2030, siguiendo una tendencia al alza, los traumatismos por accidentes de tránsito ocuparán el quinto lugar en causas de muerte en el mundo (Véase Imagen. 1)

TOTAL 2004			TOTAL 2030		
NO. DE ORDEN	PRINCIPALES CAUSAS	%	NO. DE ORDEN	PRINCIPALES CAUSAS	%
1	Enfermedad isquémica del corazón	12,2	1	Enfermedad isquémica del corazón	12,2
2	Enfermedad cerebrovascular	9,7	2	Enfermedad cerebrovascular	9,7
3	Infecciones de las vías respiratorias inferiores	7,0	3	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica	7,0
4	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica	5,1	4	Infecciones de las vías respiratorias inferiores	5,1
5	Enfermedades diarreicas	3,6	5	Traumatismos por accidentes de tránsito	3,6
6	VIH/SIDA	3,5	6	Cánceres de la tráquea, los bronquios y el pulmón	3,5
7	Tuberculosis	2,5	7	Diabetes mellitus	2,5
8	Cánceres de la tráquea, los bronquios y el pulmón	2,3	8	Enfermedad cardíaca hipertensiva	2,3
9	Traumatismos por accidentes de tránsito	2,2	9	Cáncer del estómago	2,2
10	Prematuridad y bajo peso al nacer	2,0	10	VIH/SIDA	2,0
11	Infecciones neonatales y otras	1,9	11	Nefritis y nefrosis	1,9
12	Diabetes mellitus	1,9	12	Lesiones autoinfligidas	1,9
13	Paludismo	1,7	13	Cáncer del hígado	1,7
14	Enfermedad cardíaca hipertensiva	1,7	14	Cáncer colorectal	1,7
15	Asfixia del nacimiento y traumatismo del nacimiento	1,5	15	Cáncer del esófago	1,5
16	Lesiones autoinfligidas	1,4	16	Violencia	1,4
17	Cáncer del estómago	1,4	17	Alzheimer y otras demencias	1,4
18	Cirrosis del hígado	1,3	18	Cirrosis del hígado	1,3
19	Nefritis y nefrosis	1,3	19	Cáncer de mama	1,3
20	Cáncer colorectal	1,1	20	Tuberculosis	1,1

Imagen 1. Principales causas de mortalidad; datos comparados de 2004 y pronósticos de 2030 por World Health Organization (WHO), Estadísticas sanitarias mundiales 2008.

Un accidente de tránsito puede llevar a la pobreza a una familia, ya que los supervivientes de los accidentes y sus familias deben hacer frente a las consecuencias a largo plazo de la tragedia, incluidos los costos de la atención médica y la rehabilitación. Así como también repercute también de forma considerable en la economía de muchos países, especialmente los de ingresos bajos y medianos, que con frecuencia tienen también dificultades con otras necesidades de desarrollo. Las pérdidas mundiales a causa de dichos traumatismos se estiman en US\$ 518 000 millones y cuestan a los gobiernos entre el 1% y el 3% del producto nacional bruto^[3]; así mismo afecta los sistemas de atención sanitaria ejerciendo una gran presión en cuanto a recursos financieros, ocupación de camas y exigencias sobre los profesionales sanitarios.

Históricamente, muchas de las medidas establecidas para reducir las víctimas mortales y los traumatismos por accidentes de tránsito están orientadas a proteger a los ocupantes de los vehículos. No obstante, el informe revela que cerca de la mitad de las personas que fallecen cada año por accidentes de tránsito en el mundo son peatones, motoristas, ciclistas y pasajeros del transporte público. En la mayoría de los países de ingresos bajos y medianos, gran parte de los usuarios de las vías de tránsito son personas vulnerables: peatones, ciclistas y usuarios de vehículos de motor de dos o tres ruedas. Estos grupos de usuarios no circulan dentro de una estructura que los proteja y, por lo tanto, corren un riesgo mayor que aquellos que utilizan otros vehículos. Las personas que se desplazan en transporte público también pueden ser usuarios vulnerables de las

vías de tránsito especialmente en los lugares en que los vehículos de transporte público son inseguros, están abarrotados o carecen de reglamentación.

Los usuarios vulnerables de las vías de tránsito corren riesgos adicionales cuando sus necesidades no se tienen en cuenta durante la planificación del uso del territorio o la construcción de las vías de tránsito. En muchos países éstas se planean y construyen para que los vehículos de motor puedan circular más rápido, mientras que se dedica una atención insuficiente a las necesidades de los peatones y ciclistas, lo que significa que estos usuarios vulnerables de las vías de tránsito se enfrentan cada vez con más riesgos a la hora de utilizar y cruzar dichas vías.

Con la identificación de los factores de riesgo fundamentales para la ocurrencia de los siniestros viales siendo el exceso de velocidad, beber y conducir, así como, la falta del uso de cinturones de seguridad, cascos de motocicleta y sistemas de retención para niños, se ha señalado como un punto de mejora en todas las regiones del mundo la modificación de su legislación relacionadas con por lo menos uno de los cinco factores de riesgo fundamentales. Por lo que se invita a los gobiernos a promulgar y hacer cumplir leyes integrales que estipulen que todos los usuarios de las vías de tránsito deben estar protegidos por medio de dispositivos de sujeción apropiados y deben respetar los límites de alcoholemia y velocidad que reducen el riesgo de accidentes de tránsito.

La Comisión para la Seguridad Vial Mundial hizo un llamado en favor de un Decenio de Acción para la Seguridad Vial en su informe de 2009. La propuesta fue respaldada por una amplia gama de personalidades, así como por el Grupo de colaboración de las Naciones Unidas para la seguridad vial. El Secretario General de las Naciones Unidas, en su informe de 2009 presentado a la Asamblea General, alentaba a los Estados Miembros a que apoyaran los esfuerzos para establecer dicho Decenio, que brindaría una oportunidad para realizar actividades coordinadas y a largo plazo en apoyo de la seguridad vial a nivel local, nacional y regional.

Un Decenio ofrecería un marco temporal para tomar medidas destinadas a alentar el compromiso político y la asignación de recursos tanto a nivel nacional como mundial. Los donantes podrían utilizar el Decenio como estímulo para integrar la seguridad vial en sus programas de asistencia. Los países de ingresos bajos y medianos pueden utilizarlo para acelerar la adopción de programas de seguridad vial, eficaces y rentables, en tanto que los países de ingresos altos pueden aprovecharlo para mejorar sus resultados en materia de seguridad vial, así como para compartir sus experiencias y conocimientos con los demás.

En marzo de 2010, la resolución de la Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó el período 2011–2020 como el Decenio de Acción para la Seguridad Vial con el objetivo de estabilizar y, posteriormente, reducir las cifras previstas de víctimas mortales en accidentes de tránsito en todo el mundo, aumentando las actividades en los planos nacional, regional y mundial. La resolución pide a los Estados Miembros que lleven a cabo actividades en materia de seguridad vial, particularmente en los ámbitos de la gestión de la seguridad vial, la infraestructura vial, la seguridad de los vehículos, el comportamiento de los usuarios de las vías de tránsito, la educación

para la seguridad vial y la atención después de los accidentes. Si bien apoya el seguimiento periódico de los progresos hacia la consecución de las metas mundiales relacionadas con el Decenio, señala que las metas nacionales relativas a cada esfera de actividades deberían ser fijadas por cada Estado Miembro. La resolución pide que la Organización Mundial de la Salud y las comisiones regionales de las Naciones Unidas, preparen un Plan mundial para el Decenio como documento orientativo que facilite la consecución de sus objetivos.

1.1 El 1er Decenio de Acción para la Seguridad Vial. (2011 – 2020)

Derivado a los datos publicados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), donde se estimaba que alrededor de 1,35 millones de personas mueren por este motivo y además resultan heridas de 20 a 50 millones de personas a consecuencia de accidentes de tránsito no mortales, muchas de ellas quedando con discapacidad permanente, fue considerado como un importante problema de salud pública esta clase de percances. Por ello, la Asamblea General de la ONU proclamó el periodo 2011 – 2020 como el Decenio de Acción para la Seguridad Vial, cuyo objetivo general fue estabilizar y en su momento reducir las cifras de víctimas mortales con motivo de accidentes vehiculares en el mundo; para cumplir con las metas, se solicitó a la OMS y a las Comisiones Regionales de las Naciones Unidas que elaborarán un plan de acción con el fin de conseguir los objetivos, realizando informes sobre seguridad vial en el mundo, así como sus instrumentos necesarios, es decir, una guía que permita orientar a los países miembros a facilitar la aplicación de las medidas destinadas para lograr las metas y objetivos, entre las propuestas se destacan las siguientes:

- La incorporación de las características de la seguridad vial en la utilización de la tierra, la planificación urbana y la planificación del transporte.
- El diseño de carreteras más seguras y la exigencia de auditorías independientes en materia de seguridad vial para los nuevos proyectos de construcción.
- El control eficaz de la velocidad a cargo de la policía y mediante el uso de medidas de descongestión del tránsito.

Los principios rectores en que se basa el Plan Mundial para el Decenio de Acción 2011 – 2020, son los que se incluyen en el enfoque sobre un *sistema seguro*^[4], el cual pretende desarrollar un sistema de transporte vial mejor adaptado al error humano y que tome en consideración la vulnerabilidad del cuerpo humano. Lo primero consiste en aceptar la posibilidad del error humano y, por ende, la imposibilidad de evitar completamente que se produzcan accidentes de tránsito. La finalidad de un sistema seguro es garantizar que los accidentes no causen lesiones humanas graves. El enfoque considera que las limitaciones humanas constituyen una base importante para diseñar el sistema de transporte vial, y que los demás aspectos del sistema vial, tales como el desarrollo del entorno vial y del vehículo, deben armonizarse en función de tales limitaciones.

^[4] Organización Nacional de las Naciones Unidas. Organización Mundial de la Salud (OMS). *Plan Mundial para el Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2011 -2020*, 8 -11

Este enfoque supone traspasar gran parte de la responsabilidad de los usuarios de las vías de tránsito a los diseñadores del sistema de transporte vial, entre los cuales destacan los responsables de la gestión vial, la industria de la automoción, la Policía, los políticos y los órganos legislativos.

La finalidad general del Decenio es estabilizar y, posteriormente, reducir las cifras previstas de víctimas mortales en accidentes de tránsito en todo el mundo antes de 2020 mediante las siguientes acciones:

- La formulación y ejecución de estrategias y programas de seguridad vial sostenibles.
- La fijación de una meta ambiciosa, pero factible, de reducción del número de muertos a causa de los accidentes de tránsito antes de 2020 basándose en los marcos vigentes de metas regionales relativas a las víctimas.
- El reforzamiento de la infraestructura y capacidad de gestión para la ejecución técnica de actividades de seguridad vial a nivel nacional, regional y mundial.
- El mejoramiento de la calidad de la recopilación de datos a nivel nacional, regional y mundial
- El seguimiento de los avances y del desempeño a través de una serie de indicadores predefinidos a nivel nacional, regional y mundial
- El fomento de una mayor financiación destinada a la seguridad vial y de un mejor empleo de los recursos existentes, en particular velando por la existencia de un componente de seguridad vial en los proyectos de infraestructura.

En el plano nacional, se alienta a los países a que apliquen los cinco pilares siguientes:

- 1) Gestión de la Seguridad Vial: Consiste en alentar la creación de alianzas multisectoriales y la designación de organismos coordinadores que tengan capacidad para elaborar estrategias, planes y metas nacionales en materia de seguridad vial y para dirigir su ejecución, basándose en la recopilación de datos y la investigación probatoria para evaluar el diseño de contramedidas y vigilar la aplicación y la eficacia
- 2) Vías de tránsito y movilidad más seguras: Comprometerse en aumentar la seguridad intrínseca y la calidad de protección de las redes de carreteras en beneficio de todos los usuarios de las vías de tránsito, especialmente de los más vulnerables. Mediante la aplicación de evaluaciones de la infraestructura vial y el mejoramiento de la planificación, el diseño, la construcción y el funcionamiento de las carreteras tomando en cuenta la seguridad.
- 3) Vehículos más seguros: Se basa en fomentar el despliegue universal de mejores tecnologías de seguridad pasiva y activa de los vehículos, combinando la armonización de las normas mundiales pertinentes, los sistemas de información a los consumidores y los incentivos destinados a acelerar la introducción de nuevas tecnologías.
- 4) Usuarios de vías de tránsito más seguros: Consta de la elaboración de programas integrales para mejorar el comportamiento de los usuarios de las vías de tránsito. Observancia permanente o potenciación de las leyes y normas en combinación con la educación o

sensibilización pública para aumentar las tasas de utilización del cinturón de seguridad y del casco, y para reducir la conducción bajo los efectos del alcohol, la velocidad y otros factores de riesgo.

- 5) Respuesta tras los accidentes: Aumentar la capacidad de respuesta a las emergencias ocasionadas por los accidentes de tránsito y mejorar la capacidad de los sistemas de salud y de otra índole para brindar a las víctimas tratamiento de emergencia apropiado y rehabilitación a largo plazo.

Los países deberían considerar estas cinco áreas en el marco de su propia estrategia nacional de seguridad vial, su capacidad en esta materia y sus sistemas de recopilación de datos.

Durante el proceso de evaluación se calcularán los indicadores tanto de resultados como de proceso. Los informes de situación y otras herramientas de seguimiento servirán de base para los debates en los eventos mundiales sobre los exámenes a la mitad y al final del período. En el plano nacional, cada país establecerá su propio sistema de seguimiento. Se espera que los países elaboren y publiquen informes y organicen eventos para debatir los avances y adaptar los planes.

En 2019, las lesiones provocadas por accidentes de tránsito se posicionaban como la séptima causa de muerte en los países de ingresos bajos, aún dentro del marco del Decenio de Acción por la Seguridad Vial, por lo que se consideró como un problema que seguía latente en el mundo. (Obsérvese Imagen 2.)

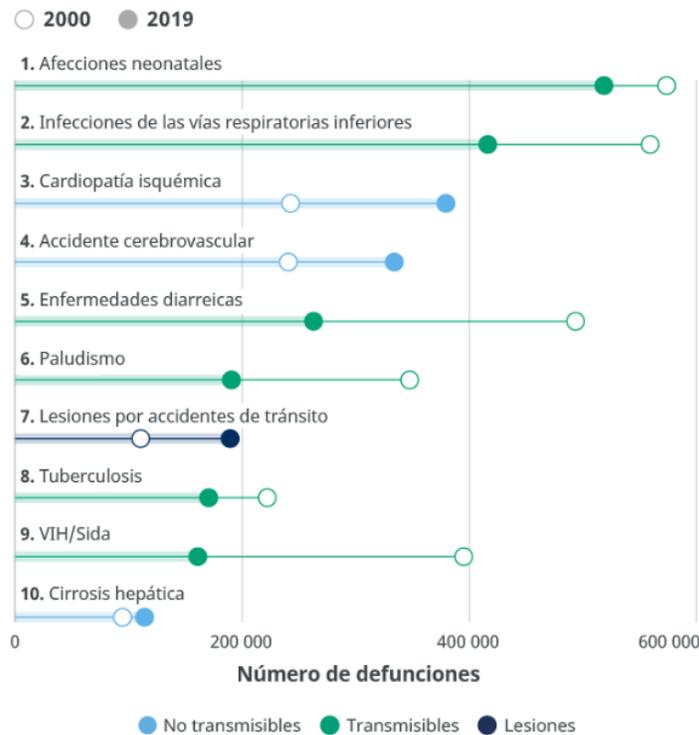


Imagen 2. Principales causas de defunción en países de ingresos bajos, 2019 por World Health Organization (WHO), Global Health Estimates, 2020.

Mientras tanto en México, el Ejecutivo Federal, publicó en el Diario Oficial de la Federación, la Estrategia Nacional de Seguridad Vial 2011-2020, con la cual se tenía como objetivo general reducir un 50% las muertes, así como reducir al máximo posible las lesiones y discapacidades por accidentes de tránsito en el territorio nacional, promoviendo la participación de las autoridades de los tres niveles de gobierno, en la implementación de las siguientes acciones:

- a) Coadyuvar en el fortalecimiento de la capacidad de gestión de la seguridad vial, a través de las siguientes actividades, como puede ser la promoción participativa que corresponda a los tres niveles de gobierno entre sí, para implementar coordinadamente políticas o programas de seguridad vial, e involucrar a la sociedad civil, empresas y usuarios de las vías, en el desarrollo de estrategias nacionales, estatales y locales de seguridad vial que contengan metas e indicadores.
- b) Participar en la revisión de la modernización de la infraestructura vial y de transporte más segura.
- c) Fomentar el uso de vehículos más seguros.
- d) Mejorar el comportamiento de personas usuarias de las vialidades incidiendo en los factores de riesgo que propician la ocurrencia de accidentes de tránsito, y
- e) Fortalecer la atención del trauma y de los padecimientos agudos mediante la mejora de los servicios de atención médica pre-hospitalaria y hospitalaria.

En México, los resultados obtenidos al final del Primer Decenio de Acción por la Seguridad Vial fueron aceptables, sin embargo, no suficientes para alcanzar la meta prevista.

A través del Secretariado Técnico del Consejo Nacional para la Prevención de Accidentes (STCONAPRA) se publican los avances que se tienen en el tema de Seguridad Vial en el país por medio del *Informe sobre la Situación de la Seguridad Vial México*, en el año 2021 fueron publicados los resultados obtenidos durante este primer decenio. En este informe se hace referencia al artículo denominado *Avances en México a la mitad del Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2011–2020*, en el que se evaluó el avance durante el Decenio de Acción y se estimó el número de defunciones potencialmente evitadas, tomando como referencia la tendencia estimada por los modelos ARIMA (*AutoRegressive Integrated Moving Average*) el cual permite describir un valor como una función lineal de datos anteriores y errores debidos al azar, además, puede incluir un componente cíclico o estacional.

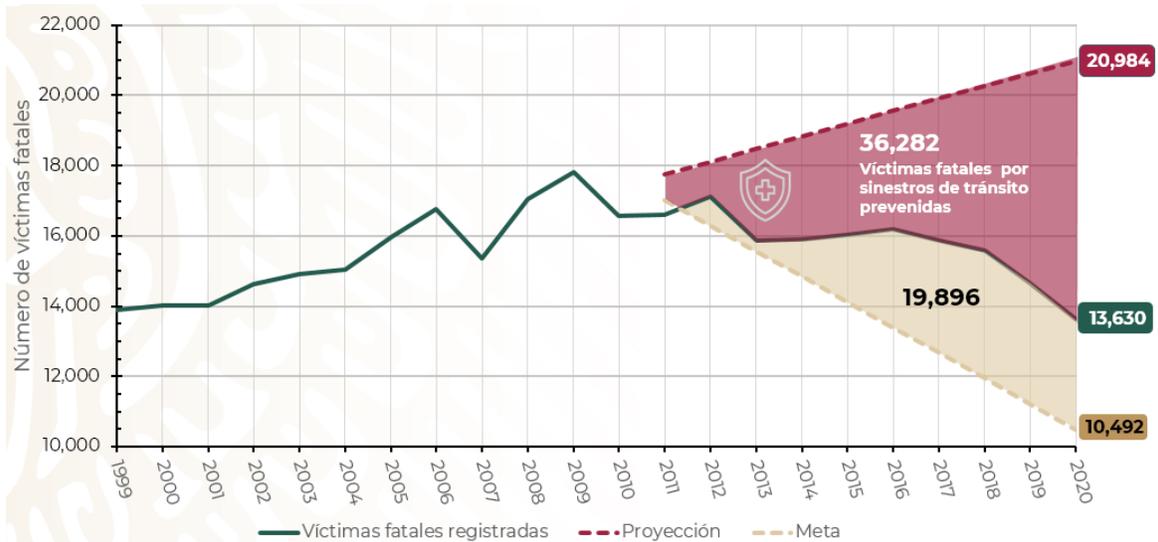
Al comparar la proyección de mortalidad por accidentes de tránsito (línea punteada color rojo) obtenida del modelo ARIMA en el periodo 2011-2020 con las cifras reales (línea continua color verde), se observa la posibilidad de haber prevenido 36,282^[5] defunciones por accidentes de tránsito, así mismo es posible apreciar que al final del decenio no fue posible llegar a la meta de

^[5] Secretaría de Salud. Secretariado Técnico del Consejo Nacional para la prevención de accidentes (STCONAPRA). *Informe sobre la situación de la seguridad vial México 2021*.

disminuir a la mitad las víctimas fatales por accidentes de tránsito proyectadas quedando una diferencia acumulada de 19,896 víctimas fatales, como se puede apreciar en la Figura 1.

Figura 1.

Resultados del Primer Decenio de Acción para la Seguridad Vial (2011 – 2020).

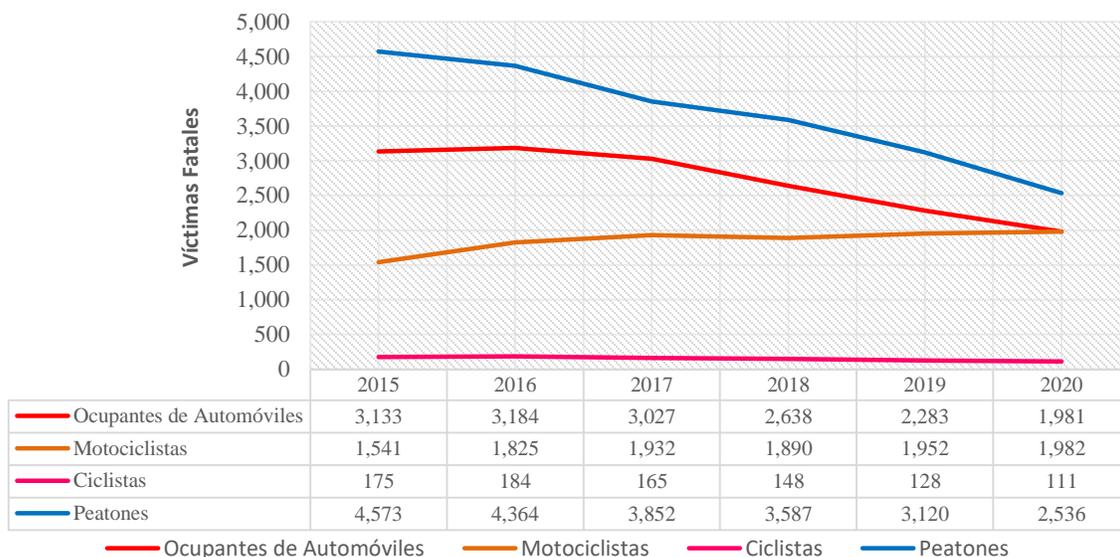


Nota. Elaborado por la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST), en el año 2023.

Al comparar las víctimas fatales por accidentes de tránsito, por tipo de persona usuaria, se observa una disminución considerable en la mortalidad de ocupantes de automóvil, así como de ciclistas y peatones, siendo estos últimos los más vulnerables en los siniestros de tránsito. En el caso de motociclistas se observa un incremento alarmante en el número de defunciones llegando a igualar a los ocupantes de automóvil. (Obsérvese Figura 2)

Figura 2.

Víctimas fatales en siniestros de tránsito por tipo de usuario en la vialidad.

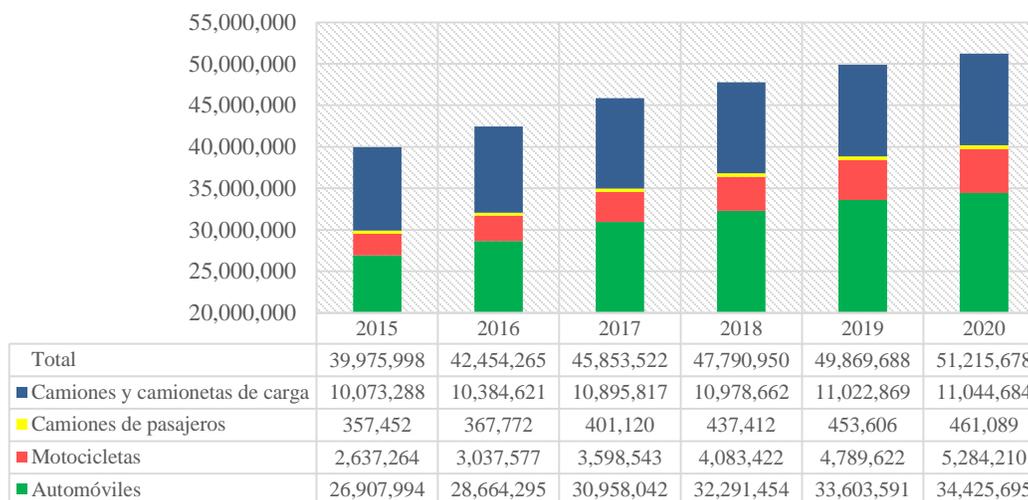


Nota. Elaboración propia con base a los datos estadísticos obtenidos por STCONAPRA en su Informe sobre la situación de la seguridad vial, México 2020.

Todas las cifras antes descritas deben contextualizarse con el aumento del 28.1 % del parque vehicular en el periodo 2015 - 2020, en comparación con 2015, llegando a cincuenta y un millones doscientos quince mil seiscientos setenta y ocho vehículos motorizados registrados, entre los que destaca el número de motocicletas, con un incremento del 100.4% en dicho periodo, por otra parte, los automóviles predominan representando un 67.2% del parque vehicular siendo aún la mayoría del parque vehicular nacional, y que además presentó un incremento del 27.9 % durante el periodo de análisis. (Obsérvese Figura 3)

Figura 3.

Vehículos registrados en circulación (2015 – 2020). STCONAPRA



Nota. Elaboración propia con base a los datos estadísticos obtenidos por STCONAPRA en su Informe sobre la situación de la seguridad vial, México 2020.

Aunque los resultados no hayan sido los esperados durante el primer Decenio de Acción para la Seguridad Vial en el periodo 2011 – 2020, se lograron avances en la disminución de siniestros viales, así como de las víctimas fatales, sin embargo, aún se tiene trabajo por realizar para el segundo periodo de acción para la seguridad vial y cumplir realmente con la meta de reducir al 50% las muertes por siniestros viales establecida nuevamente para este periodo de 2021 a 2030.

1.2 El 2^{do} Decenio de Acción para la Seguridad Vial. (2021 – 2030)

Mientras transcurría el Primer Decenio de Acción para la Seguridad Vial, simultáneamente se desarrollaba en conjunto un plan de medidas para la atención de las problemáticas mundiales en otras áreas, estas traerían consigo un conjunto de objetivos que engloban una serie de metas a cumplir para la Agenda 2030, estos objetivos se denominaron como Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) también conocidos como Objetivos Globales, publicados por las Naciones Unidas en 2015 como un llamamiento universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que para el 2030 todas las personas disfruten de paz y prosperidad. (Obsérvese Imagen 3)

Estos objetivos son el corazón de la Agenda 2030 y muestran una mirada integral, indivisible y una colaboración internacional renovada.

Los ODS tienen las siguientes características:

- Son universales ya que constituyen un marco de referencia verdaderamente universal y se aplicarán a todos los países. En la senda del desarrollo sostenible, todos los países tienen tareas pendientes y todos se enfrentan a retos tanto comunes como individuales.
- Son transformadores dada la condición del programa para “la gente, el planeta, la prosperidad, la paz y las alianzas”, la Agenda 2030 ofrece un cambio de paradigma en relación con el modelo tradicional de desarrollo hacia un desarrollo sostenible que integra la dimensión económica, la social y la medioambiental. La Agenda 2030 proporciona una visión transformadora para un desarrollo sostenible centrado en las personas y el planeta, basado en los derechos humanos, y en la dignidad de las personas.
- Son civilizatorios considerando que la Agenda 2030 trata de que nadie quede rezagado y contempla “un mundo de respeto universal hacia la igualdad y la no discriminación” entre los países y en el interior de estos, incluso en lo tocante a la igualdad, mediante la confirmación de la responsabilidad de todos los Estados de “respetar, proteger y promover los derechos humanos, sin distinción alguna de raza, color, sexo, idioma, religión, opinión política o de otro tipo, origen nacional o social, propiedad, nacimiento, discapacidad o cualquier otra condición.”



Imagen 3. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2020

En materia de la Seguridad Vial, 2 de los 17 objetivos fijaron metas para el cumplimiento de la disminución de fatalidades en los caminos, así como brindarles a los usuarios mejores sistemas de transporte, los cuales son los siguientes:

3.- Salud y Bienestar: Su principal objetivo es garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos.

Este objetivo ha fijado como meta 3.6, la reducción a la mitad el número de muertes y lesiones causadas por accidentes de tráfico en el mundo, se pretendía que para 2020 esto se cumpliera, sin embargo, al no llegar a la meta mundial ese año, fue retomado nuevamente para este nuevo decenio y se espera cumplirla en el año 2030.

11.- Ciudades y comunidades sostenibles. Busca lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

La meta fijada 11.2 busca proporcionar acceso a sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos y mejorar la seguridad vial, en particular mediante la ampliación del transporte público, prestando especial atención a las necesidades de las personas en situación de vulnerabilidad, las mujeres, los niños, las personas con discapacidad y las personas de edad.

Con base en los resultados obtenidos en el Primer Decenio de Acción por la Seguridad Vial, fue evidente que los accidentes de tránsito aún mantenían cifras alarmantes en el mundo, es por eso que siguiendo los objetivos establecidos y las metas de la Agenda 2030, el 28 de octubre del año 2020, la ONU proclama el 2021-2030 como el *Segundo Decenio de Acción para la Seguridad Vial*, siguiendo el mismo objetivo establecido: “reducir las muertes y traumatismos debidos al tránsito por lo menos en un 50% en este período”.

El Plan Mundial para el Decenio de Acción para la Seguridad Vial para el periodo 2021 a 2030, fue desarrollado por la OMS y las Comisiones Regionales de las Naciones Unidas, en cooperación con socios de la Colaboración de las Naciones Unidas para la Seguridad Vial; en este documento se describe “qué hacer, cómo hacerlo y quién hacerlo”, de igual manera establece *Los 12 objetivos globales de desempeño en seguridad vial* o también, denominados *Metas mundiales de desempeño* (Véase Imagen 4), los cuales son de carácter voluntario y van encaminadas al tratamiento de los factores de riesgo y los mecanismos de prestación de servicios en la esfera de la seguridad vial, estas metas cumplen con el propósito de orientar los esfuerzos de los países y acelerar los avances hacia el logro de unas vías de tránsito más seguras.

El plan tiene como objetivo ayudar a los gobiernos nacionales y locales, así como a otras partes interesadas que pueden influir en la seguridad vial, en la elaboración de planes de acción y la formulación de objetivos nacionales y locales para el Decenio de Acción 2021 – 2030

La principal característica de este Decenio de Acción radica en considerar al transporte por carretera como un sistema complejo y donde se sitúa la seguridad en su centro. Además, se reconoce que los seres humanos, los vehículos y la infraestructura vial deben interactuar de una manera que garantice un alto nivel de seguridad. Por lo que un sistema de seguridad deberá:

- Anticipar y tomar en cuenta los errores humanos;
- Incorporar diseños de vías de tránsito y vehículos que reduzcan las fuerzas de colisión a niveles que estén dentro de la tolerancia humana para prevenir la muerte o traumatismos graves;

- Alentar a quienes diseñan y mantienen las carreteras, fabrican vehículos y gestionan programas de seguridad, a compartir la responsabilidad de la seguridad con los usuarios de la infraestructura vial, de modo que cuando se produzca una colisión, se busquen soluciones en todo el sistema, en lugar de culpar únicamente al conductor u otros usuarios de la carretera;
- Perseguir un compromiso con la mejora proactiva y continua de las carreteras y los vehículos para que todo el sistema sea seguro y no solo los lugares o situaciones donde ocurrieron las últimas colisiones;
- Actuar de conformidad con la premisa subyacente de que el sistema de transporte debe producir cero defunciones o traumatismos graves y que la seguridad no debe verse amenazada en aras de otros factores, como el costo o el objetivo de lograr unos tiempos de transporte más rápido.



Imagen 4. Isotipos de los 12 objetivos globales de desempeño en Seguridad Vial por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2020.

El plan sigue una orientación en la que se desea seguir es a través de un camino que conceda prioridad a un enfoque integrado de sistemas de seguridad y lo ponga en práctica y que sitúe directamente la seguridad vial como un impulsor decisivo del desarrollo sostenible

Algunas de las medidas recomendadas se basan en intervenciones de eficacia demostrada y en las mejores prácticas para prevenir los traumatismos provocados por el tránsito y proporcionan una visión general integral de las medidas para establecer y fortalecer los sistemas de seguridad

Las áreas de oportunidad son las siguientes:

- **Transporte multimodal y planificación del uso del territorio:** El transporte multimodal y la planificación del uso del territorio son un punto de partida importante para aplicar un sistema de seguridad, ya que establece la combinación óptima de modos de transporte motorizados y no motorizados para garantizar la seguridad y el acceso equitativo a la movilidad; además para una correcta planificación del uso del territorio se deberá

considerar la gestión de la demanda de movilidad, la elección y disponibilidad de modos de desplazamiento seguros y sostenibles para todos.

- **Infraestructura vial segura:** Es aquella que debe planificarse, diseñarse, construirse y gestionarse para permitir la movilidad multimodal, incluido el transporte compartido/público, y caminar e ir en bicicleta. Debe eliminar o minimizar los riesgos para todos los usuarios de las vías de tránsito, no solo para los conductores, empezando por los más vulnerables. Se requieren normas técnicas mínimas de infraestructura que abarquen la seguridad de todos los usuarios y que se incluyan elementos básicos como señalización vertical y horizontal, aceras, cruces seguros, ciclovías, carriles para motocicletas, carriles bus, etc.
- **Seguridad del vehículo:** A través del mejoramiento de la seguridad del vehículo, con la integración de diferentes características en su diseño, ya sea para evitar colisiones (seguridad activa) o para reducir el riesgo de traumatismos para los ocupantes y otros usuarios de la red vial cuando se produce una colisión (seguridad pasiva). Es necesario aplicar normas legislativas armonizadas en el diseño y la tecnología de los vehículos a fin de garantizar un nivel de seguridad uniforme y aceptable en todo el mundo.
- **Uso seguro de las vías de tránsito:** El exceso de velocidad, la conducción bajo los efectos del alcohol, la fatiga del conductor, la conducción distraída y la no utilización de cinturones de seguridad, sistemas de retención infantil y cascos figuran entre los principales comportamientos que contribuyen a las defunciones y traumatismos por colisiones en las vías de tránsito. En consecuencia, el diseño y funcionamiento del sistema de transporte por carretera tienen en cuenta esos comportamientos a través de una combinación de leyes, de su aplicación y de la educación vial.
- **Respuesta tras las colisiones:** La atención de los traumatismos causados por una colisión puede tener plazos críticos, unos minutos de demora pueden suponer la diferencia entre la vida y la muerte. Se debe promover la capacitación de personal de primera respuesta a nivel de la comunidad para ampliar considerablemente el acceso oportuno a intervenciones simples que salvan vidas. Deben establecerse mecanismos para fortalecer la prestación de servicios de rehabilitación y el acceso a los mismos para las víctimas de colisiones, así como de sistemas integrales de apoyo a las víctimas y a sus familias

En materia de Infraestructura Vial, las medidas siguen un enfoque mixto, es decir, a vías rurales (carreteras) y urbanas (calles), las recomendaciones emitidas para esta área son las siguientes:

- Establecer clasificaciones funcionales y criterios de desempeño de seguridad deseados para cada grupo de usuarios de las vías de tránsito a nivel geográfico de la planificación del uso del territorio y del corredor vial.
- **Revisar y actualizar la legislación y las normas de diseño locales que tengan en cuenta la función de las vías de tránsito y las necesidades de todos sus usuarios**, y para zonas específicas.

- Especificar una norma técnica y un objetivo de clasificación por estrellas para todos los diseños vinculados a cada usuario de red vial, y el criterio de desempeño deseado en materia de seguridad en esa ubicación.
- Establecer reglamentos para el uso de la infraestructura que garanticen el cumplimiento lógico e intuitivo del entorno de velocidad deseado (por ejemplo, límite de 30 km/h en centros urbanos; de ≤ 80 km/h en carreteras rurales con línea discontinua; de 100 km/h en autovías).
- Realizar auditorías de seguridad vial en todos los tramos de las nuevas carreteras (estudio previo de viabilidad mediante un diseño detallado) y llevar a cabo evaluaciones utilizando expertos independientes y acreditados para garantizar un criterio mínimo de tres estrellas o mejor para todos los usuarios de la carretera.
- Identificar el riesgo de colisión (en que los datos de la colisión sean fiables) y realizar evaluaciones e inspecciones de seguridad proactivas en la red sometida a examen centrándose en las **necesidades pertinentes de los usuarios de la vía de tránsito**, según corresponda.
- Establecer un objetivo de desempeño de las vías de tránsito para cada usuario basado en los resultados de la inspección con parámetros de medición claros en relación con las características de la vía (por ejemplo, dotación de aceras).

Se debe destacar que las recomendaciones no son prescriptivas (limitativas), pero pueden utilizarse para fundamentar la elaboración de planes de acción nacionales de seguridad vial que se adapten a los contextos, los recursos disponibles y la capacidad locales.



Imagen 5. Plan Mundial “Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2021 -2030 por la Organización Mundial de la Salud, 2020.

De acuerdo a la Imagen 5 la cual fue publicada por la Organización Mundial de la Salud; el Plan de Acción Mundial para la Seguridad Vial 2021 - 2030 hace nuevamente un llamamiento a los gobiernos y las partes interesadas para que tomen un nuevo camino que haga hincapié en la seguridad como un valor central dentro del sistema de seguridad y la movilidad sostenible, describiendo las medidas necesarias para alcanzar nuevamente la meta de reducir los siniestros viales por lo menos en un 50%.

El Segundo Decenio de Acción para la Seguridad Vial, insta a los gobiernos y a todas las personas interesadas en la seguridad vial a que utilicen este plan para guiar la elaboración, aplicación y evaluación continuas de medidas de seguridad vial a nivel mundial, regional, nacional y subnacional, ajustadas y adaptadas a contextos específicos. Además, los gobiernos deben establecer una visión general de la seguridad vial y de los problemas específicos que hay que abordar para alcanzarla. Con este fin, los planes tienen que identificar prioridades de acción a corto, mediano y largo plazo, reconociendo que no todo se puede hacer a la vez.

Para este Segundo Decenio de Acción para la Seguridad Vial (2021 – 2030), se llevarán a cabo evaluaciones a medio plazo (2025) y finales (2030), para determinar los avances y cambios. Por lo que los indicadores internacionales de relevancia serán el número de defunciones y traumatismos provocados por el tránsito por cada 100 000 habitantes.

La movilidad al ser una parte integral de casi todos los aspectos de nuestra vida diaria, ya que pasamos de nuestros hogares a un sistema vial que nos lleva al trabajo y a la escuela, a obtener nuestros alimentos y a satisfacer muchas de nuestras necesidades familiares y sociales diarias, su seguridad, o su falta de seguridad, afectan a una amplia gama de necesidades humanas básicas. Por consiguiente, garantizar la seguridad y facilitar la movilidad sostenible a través de las calles y carreteras, desempeñan un papel importante en la reducción de la pobreza y las desigualdades, el aumento del acceso al empleo y la educación, y la mitigación del impacto del cambio climático. De hecho, la eficiencia, accesibilidad y seguridad de los sistemas de transporte contribuyen directa e indirectamente a la realización de muchos ODS.

A nivel de los países, la aplicación de los planes de acción nacionales y locales debe llevarse a cabo de manera iterativa y basarse en datos y pruebas.

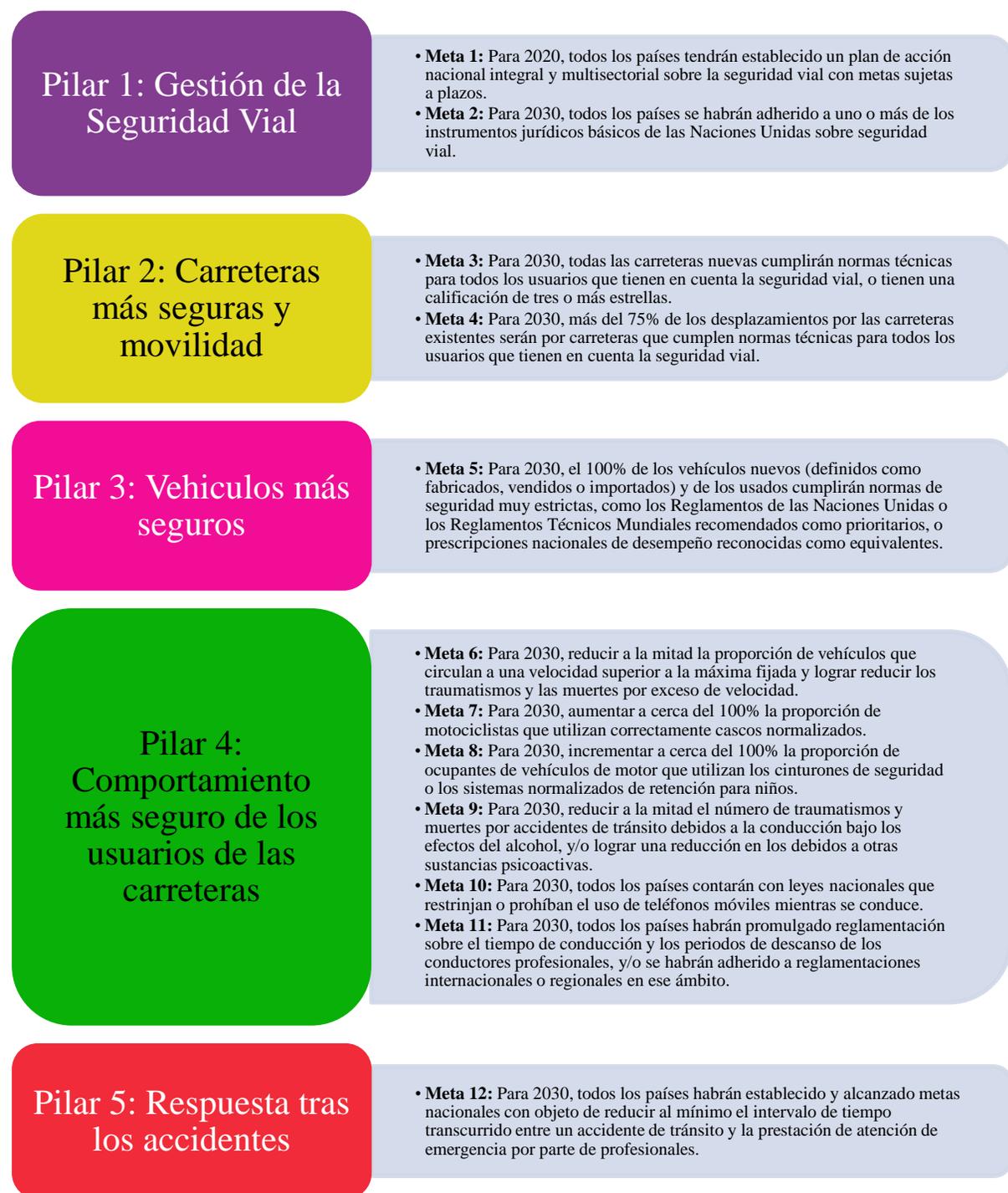
Aunque los organismos gubernamentales tienen la responsabilidad principal de diseñar un sistema de transporte por carretera seguro y de aplicar un plan de acción de seguridad vial, la influencia de otros actores y el papel que desempeñan se reconocen cada vez más como una parte importante del sistema de seguridad. El sector privado, la sociedad civil, las instituciones académicas y otros actores no estatales también pueden contribuir de manera importante. En este sentido, es fundamental la fuerza colectiva y global de las organizaciones públicas y privadas que adoptan prácticas de seguridad vial como parte de sus contribuciones a los ODS, junto con su respaldo, liderazgo y poder adquisitivo.

Las instituciones académicas y los grupos de la sociedad civil cuentan con una considerable experiencia que puede ayudar a colmar vacíos importantes en diferentes esferas de la seguridad vial, además desempeñan un papel importante en la generación de evidencia para ayudar al gobierno y otros actores a comprender la naturaleza del problema, así como a identificar soluciones y estrategias eficaces.

En conjunto con la sociedad civil puede ayudar a amplificar la voz de las instituciones académicas actuando como un promotor y como una voz independiente para influir en el cambio social y lograr avances en el cumplimiento de las 12 metas propuestas (Véase Figura 4)

Figura 4.

Metas y pilares del Segundo Decenio de Acción por la Seguridad Vial 2021 – 2030



Nota. Elaboración propia con base al Plan mundial para el Decenio de acción para la seguridad vial 2021-2030.

Para este nuevo periodo de acción 2021 a 2030, el Gobierno de México derivado del Plan Nacional de Desarrollo establece en su “Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2020-2024”, los Objetivos prioritarios, así como las Estrategias Prioritarias y Acciones puntuales que tienen como finalidad avanzar en el cumplimiento de los compromisos asumidos por el país en el marco de la Agenda 2030, destacándose la estrategia prioritaria 1.1 consistente en el “*Mejoramiento de la seguridad vial en la Red Carretera Federal*” para el bienestar todos los usuarios, asimismo están contenidas diversas acciones para avanzar en el cumplimiento de los compromisos asumidos por nuestro país en el marco de la Agenda 2030, algunos de los cuales se encuentran en los ODS’s, y de esta manera contribuir a la incorporación de esta Agenda en la Planeación Nacional de Desarrollo de la Nación.

Los objetivos prioritarios establecidos en este programa son los siguientes:

- Objetivo Prioritario 1: Contribuir al bienestar social mediante la construcción, modernización y conservación de infraestructura carretera accesible, segura, eficiente y sostenible, que conecte a las personas de cualquier condición, con visión de desarrollo regional e intermodal.
- Objetivo Prioritario 2: Contribuir al desarrollo del país mediante el fortalecimiento del transporte con visión de largo plazo, enfoque regional, multimodal y sustentable, para que la población, en particular en las regiones de menor crecimiento, cuente con servicios de transporte seguros, de calidad y cobertura nacional.
- Objetivo Prioritario 3: Promover la cobertura, el acceso y el uso de servicios postales, de telecomunicaciones y radiodifusión, en condiciones que resulten alcanzables para la población, con énfasis en grupos prioritarios y en situación de vulnerabilidad, para fortalecer la inclusión digital y el desarrollo tecnológico.
- Objetivo Prioritario 4: Consolidar la red de infraestructura portuaria y a la marina mercante como detonadores de desarrollo regional, mediante el establecimiento de nodos industriales y centros de producción alrededor de los puertos y; mejorando la conectividad multimodal para fortalecer el mercado interno regional.

El Objetivo Prioritario 1 es de interés dada la importancia de la infraestructura carretera, como medio facilitador del tránsito de personas y mercancías, una poblaciones, da acceso a bienes y servicios e integra a comunidades en zonas aisladas y marginadas. Por lo que, la construcción, la conservación y el mantenimiento de estos activos son indispensables para el desarrollo económico y el bienestar social del país.

Asimismo, la atención en la infraestructura carretera también radica en la alta ocurrencia de accidentes de tránsito y una elevada mortalidad que éstos ocasionan, ya que constituye un grave problema de salud pública. En México, entre 2011 y 2017, la cifra anual de muertes se redujo en 4.5% (de 16,615 a 15,866)⁷. En 2018, en la Red Carretera Federal ocurrieron 12,237 accidentes en los que se registraron 2,994 muertos en el sitio, 8,761 lesionados graves y daños materiales del orden de 61 millones de dólares.

Un estudio^[6] realizado en el año 2008 por la “*International Road Assessment Programme*” (por sus siglas en inglés iRAP) obtuvo que: para la obtención del valor estadístico de la vida, es necesario de un análisis mediante una regresión lineal, el cual estará en función del ingreso y del método de estimación empleado, donde se distinguen dos métodos principales para estimar el valor estadístico de la vida: el de la disposición a pagar y el del capital humano como pérdida del producto. Para el estudio^[7] realizado por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), fue empleado el método del capital humano o método de producción bruta. Lo anterior se debe a que en México no se tienen disponibles estudios confiables sobre la valuación estadística de la vida utilizando el método de la disposición a pagar por evitar accidentes carreteros. Asimismo, iRAP recomienda como aproximación razonable para considerar que el valor de un lesionado es equivalente al 25% del Valor Estadístico de la Vida.

Acorde con la metodología (IRAP), el valor de los muertos y lesionados, en 2018 fue de 409,694 y 102,423 dólares respectivamente, a precios de 2010, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1.

Evolución del valor estadístico de la vida, 2010 – 2018, Programa Sectorial SICT (2020 – 2024)

Año	PIB per cápita (en dólares a precios constantes de 2010)	VEV-Valor del fallecido (Dólares)	25% VEV-Valor del lesionado (Dólares)
2010	9,271.398	360,600.39	90,150.10
2011	9,477.887	369,647.93	92,411.98
2012	9,690.869	379,005.81	94,751.45
2013	9,693.723	379,131.38	94,782.84
2014	9,839.050	385,531.73	96,382.93
2015	10,037.201	394,277.53	98,569.38
2016	10,206.893	401,784.41	100,446.10
2017	10,297.586	405,802.32	101,450.73
2018	10,385.298	409,693.55	102,423.39

Nota. Elaborado con base en datos del IMT.

Dado lo anterior, el Gobierno Federal planea implementar procesos orientados a fortalecer, mantener y preservar el patrimonio vial de los mexicanos y mexicanas, asegurando el tránsito seguro de los usuarios, la integración de las poblaciones de mayor marginación a los beneficios del desarrollo regional a través de una política pública con un fuerte componente de participación social, así como del sector privado.

^[6] McMahon, K. y S. Dahdah, (2008), *The True Cost of Road Crashes, Valuing Life and the Cost of Serious Injury*, International Road Assessment Programme, www.irap.net.

^[7] Rivera, Cesar y Mendoza, Díaz, *Análisis costo-beneficio y costo-efectividad de las medidas de seguridad implementadas en carreteras mexicanas*, IMT, 2009

El objetivo prioritario 1 comprende de 5 estrategias prioritarias para atender las deficiencias actuales en la Red Carretera Federal (RCF) siendo las siguientes:

- Estrategia prioritaria 1.1 Mejorar el estado físico de la Red Carretera Federal a través de la conservación y reconstrucción para aumentar el bienestar, la conectividad y seguridad de los usuarios de la infraestructura carretera.
- Estrategia prioritaria 1.2 Mejorar la seguridad vial en la Red Carretera Federal para el bienestar de todos los usuarios.
- Estrategia prioritaria 1.3 Transparentar todo el proceso de gestión de obra pública para disminuir la corrupción y garantizar la calidad de la obra.
- Estrategia prioritaria 1.4 Incrementar la cobertura y accesibilidad de las vías de comunicación para impulsar el desarrollo regional y disminuir la marginación.
- Estrategia prioritaria 1.5 Mejorar la planeación y prospectiva de la infraestructura carretera, para contar con procesos sólidos y ágiles de terminación de obra y detectar oportunamente las necesidades futuras de la infraestructura carretera.

De la Estrategia prioritaria 1.2, se desprenden las siguientes acciones puntuales:

- Atender los puntos de conflicto en la Red Carretera Federal.
- Diseñar e implementar un programa preventivo de seguridad vial en la Red Carretera Federal.
- Reforzar los programas de señalamiento horizontal, vertical y barreras de protección en la Red Carretera Federal, conforme a la normatividad vigente.
- Incorporar tecnologías de punta y mejores prácticas internacionales para incrementar la seguridad vial.
- Establecer lineamientos y criterios para que los proyectos ejecutivos de construcción y modernización de carreteras, se diseñen atendiendo la seguridad vial de todos los usuarios, desde la fase de anteproyecto
- Implementar las auditorías de seguridad vial en la Red Carretera Federal.
- Realizar campañas informativas para difundir entre la población los aspectos fundamentales de seguridad vial y crear progresivamente una cultura vial.

La SICT visualiza en 20 años, un México conectado, moderno, con accesibilidad, en el que, a través de una red multimodal de comunicaciones bien conservada y segura, permita a cualquier mexicana y mexicano disfrutar de servicios básicos y de esparcimiento, de tal forma que el bienestar de la población se incremente y el aislamiento y la marginación disminuyan.

Para lo anterior, se deberá garantizar la seguridad y sustentabilidad mediante la implementación de las nuevas tecnologías de información, tanto en los sistemas como en las unidades de transporte. Además, la normatividad debe evolucionar en paralelo para atender los requerimientos de la nueva tecnología.

1.3 Ley General de Movilidad y Seguridad Vial

Con respecto a los avances en materia de normatividad, desde 2008 la Organización Panamericana de la Salud (OPS) dependiente de la Organización Mundial de la Salud (OMS), ha apoyado para el progreso de México en movilidad y seguridad vial, trabajando con socios para desarrollar los sistemas, las capacidades y la conciencia necesarias para impulsar el progreso en todos los niveles, incluso a través de fondos Bloomberg para la Iniciativa Global de Seguridad Vial.

A través de financiamiento, capacitación y múltiples campañas de concientización, la OPS/OMS ayudó a fortalecer la Coalición Movilidad Segura de México que luchó con éxito por la nueva ley. La coalición reunió a 70 organizaciones de la sociedad civil de 25 de los 32 estados de México. También participó en la promoción y coordinación de alto nivel para ayudar a dar forma y generar impulso para la nueva ley, trabajando en estrecha colaboración con senadores y funcionarios mexicanos influyentes y coordinando a través de las Naciones Unidas a nivel mundial, regional y nacional.

El 17 de mayo de 2022, se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF) la Ley General de Movilidad y Seguridad Vial (LGMSV), misma que de conformidad con su artículo 1º, tiene por objeto establecer las bases y principios para garantizar el derecho a la movilidad en condiciones de seguridad vial, accesibilidad, eficiencia, sostenibilidad, calidad, inclusión e igualdad, Ley que entró en vigor al día siguiente de su publicación.

El objetivo prioritario de la presente Ley es la protección de la vida y la integridad física de las personas en sus desplazamientos, el uso o disfrute en las vías públicas del país, por medio de un enfoque de prevención que disminuya los factores de riesgo y la incidencia de lesiones graves, a través de la generación de sistemas de movilidad seguros, los cuales deben seguir los siguientes criterios:

- Las muertes o lesiones graves ocasionadas por un siniestro de tránsito son prevenibles.
- Los sistemas de movilidad y de transporte y la infraestructura vial deberán ser diseñados para tolerar el error humano, para que no se produzcan lesiones graves o muerte, así como reducir los factores de riesgo que atenten contra la integridad y dignidad de los grupos en situación de vulnerabilidad.
- Las velocidades vehiculares deben mantenerse de acuerdo con los límites establecidos en la presente Ley para reducir muertes y la gravedad de las lesiones.
- La integridad física de las personas es responsabilidad compartida de quienes diseñan, construyen, gestionan, operan y usan la red vial y los servicios de transporte.
- Las soluciones cuando se produzca un siniestro de tránsito, deben buscarse en todo el sistema, en lugar de responsabilizar a alguna de las personas usuarias de la vía.
- Los derechos de las víctimas se deberán reconocer y garantizar de conformidad con lo establecido en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en la Ley General de Víctimas y los Tratados Internacionales de los que el Estado Mexicano sea parte.

- Las decisiones deben ser tomadas conforme las bases de datos e indicadores del Sistema de Información Territorial y Urbano, para lo cual se deben establecer sistemas de seguimiento, información, documentación y control de lo relativo a la seguridad de los sistemas de movilidad. En caso de que no exista evidencia local, se deberá incorporar el conocimiento generado a nivel internacional.
- Las acciones de concertación son necesarias entre los sectores público, privado y social con enfoque multisectorial, a través de mecanismos eficientes y transparentes de participación.
- El diseño vial y servicio de transporte debe ser modificado o adaptado, incorporando acciones afirmativas sin que se imponga una carga desproporcionada o indebida, a fin de que se garantice la seguridad integral y accesibilidad de los grupos en situación de vulnerabilidad, con base en las necesidades de cada territorio.

Algunos de los puntos que se consideran relevantes de esta Ley son los siguientes:

En el artículo 6 se establece que la planeación, diseño e implementación de las políticas públicas, planes y programas en materia de movilidad deberán favorecer en todo momento a la persona, los grupos en situación de vulnerabilidad y sus necesidades, garantizando la prioridad en el uso y disposición de las vías (Obsérvese Imagen 6).

- Peatones; en especial personas con discapacidad y movilidad limitada
- Ciclistas
- Usuarios del servicio de transporte público de pasajeros
- Prestadores del servicio de transporte público de pasajeros;
- Prestadores del servicio de transporte de carga y distribución de mercancías;
- Usuarios de transporte particular automotor y motociclistas.



Imagen 6. Jerarquía de la Movilidad por la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), 2022

Además, fue creado el Sistema Nacional de Movilidad y Seguridad Vial (SNMSV), mismo que de conformidad con lo establecido en el artículo 7 de la Ley referida, es el mecanismo de coordinación entre las autoridades competentes en materia de movilidad y seguridad vial, de los tres órdenes de gobierno, así como con los sectores de la sociedad en la materia, a fin de cumplir el objeto, los objetivos y principios de la Ley, la política, el Plan Nacional de Desarrollo, la Estrategia Nacional y los instrumentos de planeación específicos.

El SNMSV tendrá las facultades enlistadas en el apartado B del artículo 7 de la Ley en mención, dentro de las cuales destacan: emitir acuerdos y resoluciones generales para el funcionamiento del Sistema Nacional; establecer las bases de planeación, operación, funcionamiento y evaluación de las políticas en materia de movilidad y seguridad vial de carácter nacional, sectorial y regional, a fin de desarrollar los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo, los programas federales y los planes de las entidades federativas y de los municipios; diseñar y aprobar la política nacional en materia de movilidad y seguridad vial; formular manuales y lineamientos que orienten la política para los sistemas de movilidad en los centros de población, con perspectiva interseccional y de derechos humanos; entre otras.

Conforme al artículo 8 de la LGMSV, la política nacional de movilidad y seguridad vial se diseñará con un enfoque sistémico y se ejecutará con base en los principios establecidos en la Ley, los que para tal efecto emita el SNMSV, así como a través de los mecanismos de coordinación, información y participación correspondientes, con el objetivo de garantizar el derecho a la movilidad con las condiciones establecidas por la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

En el artículo 9, se establece que la movilidad es el derecho de toda persona a trasladarse y a disponer de un sistema integral de movilidad con calidad, suficiente y accesible que, en condiciones de igualdad y sostenibilidad, permita el desplazamiento de personas, bienes y mercancías, el cual deberá contribuir al ejercicio y garantía de los demás derechos humanos, por lo que las personas serán el centro del diseño y del desarrollo de los planes, programas, estrategias y acciones en la materia; y dicho derecho a la movilidad tendrá las finalidades enlistadas en el referido artículo.

El concepto más relevante de esta nueva ley fue la Seguridad Vial, la cual fue definida como el conjunto de medidas, normas, políticas y acciones adoptadas para prevenir los siniestros de tránsito y reducir el riesgo de lesiones y muertes a causa de éstos. Para su cumplimiento, las autoridades, en el marco de sus respectivas competencias, observarán las distintas directrices, tales como velocidades seguras: La construcción de una infraestructura segura, vehículos seguros mediante nuevas tecnologías de seguridad activa y pasiva, personas usuarias seguras, atención médica prehospitalaria para una atención oportuna y efectiva y dar seguimiento, gestión y coordinación a las estrategias necesarias para el fortalecimiento de la seguridad vial

La Infraestructura segura deberá proveer de espacios viales predecibles y que reduzcan o minimicen los errores de las personas usuarias y sus efectos, que se explican por sí mismos, en el sentido de que su diseño fomenta velocidades de viaje seguras y ayuda a evitar errores.

Aunado a la nueva Ley vendrán ajustes en cascada, debido a que la Federación, las entidades federativas, los municipios y las demarcaciones territoriales de la Ciudad de México deberán establecer en su normativa aplicable que las obras de infraestructura vial urbana y carretera serán diseñadas y ejecutadas bajo los principios, jerarquía de la movilidad y criterios establecidos en la LGMSV, priorizando aquéllas que atiendan a personas peatonas, vehículos no motorizados y transporte público, de conformidad con las necesidades de cada territorio.

Los estándares de diseño vial y dispositivos de control del tránsito deberán ser definidos por cada entidad federativa, en concordancia con las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) expedidas para tal efecto.

Además de los principios, también se tendrán que considerar los criterios para el diseño de infraestructura vial establecidos en el artículo 35 de la citada Ley, en el diseño y operación de la infraestructura vial, urbana y carretera para garantizar una movilidad segura, eficiente y de calidad.

Como parte de los instrumentos preventivos, correctivos y evaluativos, las autoridades de los tres órdenes de gobierno deberán considerar la implementación de auditorías e inspecciones a través de las cuales se analice la operación de la infraestructura de movilidad e identifiquen las medidas necesarias que se deben emprender para que se cumplan los principios y criterios establecidos en la LGMSV, y de acuerdo a su artículo 38 será el SNMSV el que emitirá los lineamientos en materia de auditorías e inspecciones de infraestructura y seguridad vial.

Con la publicación de esta Ley, México ha avanzado en el cumplimiento de los objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, como el de promover la inclusión y reducir el número de muertes y lesiones causados por accidentes viales.

Capítulo II: LA RED CARRETERA FEDERAL

2.1 Marco Histórico

En México los principales caminos datan de la época prehispánica, particularmente, las rutas camineras abiertas por las civilizaciones maya y azteca, cuya tradición, conocimientos y técnica se basaban en construir caminos a mano. Posteriormente en la conquista, se necesitó de la adaptación de los caminos existentes así como de su expansión para ceñirse a las necesidades económicas del intercambio comercial. Muchos de los caminos existentes no consideraban el tránsito de bestias de carga y tiro por lo que eran caminos sencillos para el tránsito humano únicamente y que no contemplaban pendientes ni curvas.

Durante el primer siglo colonial, el trazado de caminos tenía su origen en la Ciudad de México y se desplazaba de norte a sur y, de este a oeste. En el norte se abrió el Camino Real con el fin de desarrollar la minería y la ganadería; en el Sur se abrió el camino rumbo al puerto de Huatulco y el istmo de Tehuantepec; al Oeste, el camino principal pasó por Cuernavaca para culminar en Acapulco y por último; hacia el Este se encontraba de los caminos más importantes durante el virreinato, trazado por Juan Bautista Antonelli, un ingeniero militar italiano, y por mandato del Virrey Luis de Velasco en 1590, el camino que conectaba la Ciudad de México con el puerto de Veracruz pasando por Orizaba, ya que era prioritario tener vías de acceso al puerto en Veracruz por ser la principal entrada y salida hacia Europa.

Estos caminos eran transitados usualmente por animales de carga que acarreaban carretas con mercancías, la construcción era artesanal y se carencia de un diseño ya que en ocasiones se volvían caminos muy estrechos y difíciles de cruzar con las inclemencias del tiempo. La construcción se basaba en terracerías emparejadas a nivel con material del lugar y se eliminaban obstáculos que atravesarían el camino, con el paso del tiempo se podían observar algunos tramos, sobre todo a la llegada de las ciudades, que eran revestidos con pequeñas rocas.

Posteriormente, con el arribo de los vehículos automotores a México en el año de 1895, cuando Fernando de Teresa y Miranda quien fuera un joven empresario que radicaba en una casa de la Ciudad de México y propietario de un Delaunay Belleville que alcanzaba los 16 kilómetros por hora, importará su vehículo a México desde Francia; al siguiente año Alexander Byron Mohler y William P. de Gress construyeron el primer automóvil de carácter artesanal y para 1898 se comienza con la importación de algunos otros autos más de origen francés de la marca Delaunay Belleville, de la Benz de Alemania, la italiana Fiat y las compañías estadounidenses Packard y Pope – Toledo. Para el año de 1901 se abrió la primera concesionaria y en 1903 se anunció en la prensa la venta de automóviles Oldsmobile en la Ciudad de México.

El conjunto de los eventos descritos indicaba que el mercado mexicano era próspero y con potencial de crecimiento, que fue aprovechado por las diversas marcas automotrices para extender la venta de sus vehículos a lo largo del país.

Aunque los precios para adquirir un automóvil eran elevados debido al costo de envío, los impuestos de importación y las comisiones, además que debía pagarse de contado, los compradores adquirirían autos europeos de un rango medio y de lujo; por otra parte, las compañías estadounidenses producían autos de bajo costo por lo que rápidamente México se colocó como el tercer mercado más grande para vehículos fabricados en ese país.

Este nuevo medio de transporte que generaba entusiasmo a la población fue contrastado con la ausencia de un sistema vial y de carreteras que conectaran a la capital con otras ciudades del país. Esto no fue un impedimento para que los grupos que contaban con el privilegio de ser propietarias de un automóvil organizarán excursiones cada vez más alejadas de los límites de la capital para probar sus automóviles. Los destinos más populares eran Coyoacán, Tlalpan, San Ángel, Xochimilco, Chalco y, poco después, destinos como las Pirámides de Teotihuacán, Cuernavaca o Puebla. Asimismo, desde 1903 se organizó la primera carrera automovilística en el Hipódromo de Peralvillo y el desfile de algunos carros adornados en la Fiesta Floral en la Alameda.

La compra de automóviles y la moda de salir a pasear en auto, a la par de la organización de una Asociación para la Compostura y Conservación de Buenos Caminos, o la creación del Automóvil Club México, impulsaron a las autoridades a acondicionar y petrolizar los viejos caminos reales, así como a establecer una Junta Directiva de Caminos en 1905. La aparición de la revista especializada El Automóvil en México en 1907, coincidió con una fiebre automotriz a la que cada vez se sumaban más aficionados, incluyendo a Don Porfirio. El presidente de la República comenzó a trasladarse en un automóvil Panhard 35. H.P. de origen francés. Su primer viaje fue a Tlalpan para asistir a una fiesta organizada por el gobernador del Distrito Federal, Guillermo de Landa y Escandón. Este hecho quizá fue un punto de inflexión para la historia del automóvil en nuestro país, donde su uso con fines recreativos exclusivo para gente adinerada, se normalizó entre la población.

La construcción de caminos o carreteras en el gobierno del general Porfirio Díaz no fue una prioridad, basta con saber que durante su mandato los ferrocarriles desempeñaron un papel muy importante para unir regiones distantes e impulsar la economía y el desarrollo del país, al inicio se tenían alrededor de cuatro mil kilómetros (4,000 km) de vías férreas y para el final se contaba con 24, 646 km de los cuales 19,806 km correspondían a vías federales y el resto 4,840 km a vías realizadas por los estados.

Entonces los pocos recursos que se asignaban al medio carretero se destinaban, sobre todo, para la reparación, reconstrucción y conservación de los caminos ya establecidos o para la construcción de puentes que tenían el objetivo de librar algún obstáculo natural, tareas a cargo de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas (SCOP) creada en 1891. No obstante, se tuvo un ligero crecimiento en estas vías porque eran necesarias para trasladar los productos de las localidades a las estaciones de tren más cercanas para su comercialización, así como para el traslado de las personas involucradas.

En los informes que el presidente Díaz rindió ante el Congreso de la Unión los temas relacionados con los ferrocarriles, el correo y el telégrafo superaban a lo informado respecto a los caminos. En los últimos informes presidenciales (1902-1911) anuncia de dos nuevos caminos o carreteras de gran importancia: Uno que conectaría a la ciudad de Tula con la Ciudad Victoria (Tula – Cd. Victoria) en el estado de Tamaulipas, y otro que conectaría la ciudad de Iguala con la ciudad portuaria de Chilpancingo (Iguala – Chilpancingo) en el estado de Guerrero.

La carretera Tula – Ciudad Victoria está localizada al suroriente del estado de Tamaulipas, la ciudad de Tula es la población más antigua fundada el 22 de julio de 1617. Durante el Porfiriato se destacó por sus actividades agrícolas, comerciales e industriales como la producción de la fibra del ixtle obtenida de las plantas de lechuguilla, que daba empleo a tres mil personas de la región. Para su comercialización se requería de un camino que asegurara su fácil transportación hasta Ciudad Victoria, capital del estado, y de ahí tomar el tren hasta el puerto de Tampico donde la mercancía era embarcada con rumbo a Nueva York y el Havre (Francia).

Uno de los personajes oriundos de la Ciudad Tula fue la segunda esposa del general Porfirio Díaz; la influencia que tenía doña Carmen Romero de Rubio sobre Díaz fue sin duda uno de los motivos para la construcción de la carretera que uniría a Tula con Ciudad Victoria.

De acuerdo con los informes presidenciales la carretera Tula-Ciudad Victoria había completado en 1902 la mayoría de los tramos que estaban en construcción en la Sierra Victoria (Sierra Madre Oriental) que hacían del camino una vía continua. Al año siguiente esta carretera vio concluidos seis kilómetros de apertura en la montaña y su ampliación en 1.17 km más. Los trabajos de apertura de la Sierra Victoria fueron terminados en 1904; ese mismo año se concluyeron dos kilómetros de carretera a la altura de la Sierra de Palmillas y con ello faltaba solo un kilómetro para terminar el tramo que cruza la Sierra de Tula. Por otra parte, se dio fin al cañón de Palmillas y en el otro cañón denominado Monterredondo se alcanzó el kilómetro 73.

Las obras continuaron de forma constante, para 1905 se construyeron 4.5 kilómetros lineales de carretera con un ancho de seis metros, y toda la obra en el cañón de Monterredondo entre los poblados de Jamuave y Palmillas. En 1906 se realizaron 3.3 km más de camino con un ancho de seis metros. En el informe presidencial rendido el 16 de septiembre de 1906 se anunció que: *“La carretera de Tula a Ciudad Victoria quedó concluida, y se han principiado los trabajos en la (carretera) de Ciudad Victoria a Soto La Marina”*^[8]

Soto La Marina era otra de las poblaciones del estado tamaulipeco que debía tener comunicación directa con Ciudad Victoria, dado su atraso social y económico. Al término del porfiriato esta carretera había alcanzado una longitud de 61.5 kilómetros.

En el caso de la carretera Iguala – Chilpancingo; La ciudad de Iguala, situada en el norte del estado de Guerrero, es importante dentro de la historia nacional, ya que fue un sitio utilizado durante la

^[8] Secretaría de la Presidencia, *México a través de los informes presidenciales*. T. 8., 1976

época virreinal como un paso obligado para las mercancías que llegaban anualmente al puerto de Acapulco traídas por el Galeón de Manila, camino que conectaba Manila con Acapulco, y por vía terrestre, con Veracruz, que a su vez enlazaba con la Flota de Indias y, por conducto de esta, con los puertos de Sevilla o Cádiz, en la España peninsular.

En los informes presidenciales de 1909, el general Porfirio Díaz comunica de la construcción de 52 kilómetros de terracería de la carretera Iguala-Chilpancingo que corresponden al tramo Iguala-Mezcala. Por otra parte, el tramo Mezcala-Chilpancingo representó un avance de 30 kilómetros. En el informe del 16 de septiembre de 1910 se hace constar que: “*Se terminó la construcción del camino de Iguala a Chilpancingo, el cual fue inaugurado el primero de mayo último, y en el camino de Chilpancingo a Acapulco se han terminado ya siete kilómetros.*”^[6] Esta vía que acercaba al centro del país con el puerto de Acapulco se inauguró con la presencia del general. En la actualidad, el tramo Iguala-Chilpancingo forma parte de la carretera federal libre México-Acapulco.

En los años previos al triunfo de la Revolución fue un hecho que la inestabilidad política y las dificultades económicas pusieron en pausa a los caminos de México. Sin embargo, Venustiano Carranza, consciente de su importancia creó en 1917, la Dirección de Caminos y Puentes como una oficina especializada de la SCOP en la obra caminera.

Para la presidencia de Álvaro Obregón (1920-1924), fue quien debía impulsar decisivamente la labor en caminos y carreteras, encomendándole a la SCOP concebir el proyecto de legislación que promoviera la construcción y conservación de los caminos mexicanos y, con ello, sentar las bases de una política vial dirigida a generar “el bienestar social en su conjunto.”

Fue así que para el año de 1925 se dio paso a una nueva etapa en las obras carreteras, ya que el gobierno de Plutarco Elías Calles ordenó la creación de la Comisión Nacional de Caminos^[9], a través de la cual, se institucionalizó en México la construcción y conservación de caminos en todo el territorio nacional.

Una de sus primeras acciones fue contratar a la firma estadounidense Byrne Brothers Construction Co., para realizar las carreteras México-Puebla, México-Toluca y México Cuernavaca. A fines de 1926 se le rescindió el contrato por causas desconocidas y se tuvo que echar mano del personal técnico propio. Para ello, la Comisión creó el Departamento de Ingeniería.

Aunque en un principio, el presidente Calles permitió la colaboración de empresas privadas para consumir las obras camineras, al cabo de un año, concluyó que lo mejor era que la Comisión se hiciera cargo por entero de los trabajos, logrando que para 1929, los kilómetros de caminos en la República aumentaran de 695 a 940^[10]. Con el gran crecimiento y éxito de esta estrategia, fue que para 1932 se realizará un Acuerdo Presidencial el cual crearía a la Dirección Nacional de Caminos adscrita a la SCOP, pues era la única entidad federal con capacidad para ayudar a los estados y

^[9] Doralicia Carmona Dávila. Plutarco Elías Calles. Memoria Política de México en: <https://www.memoriapoliticademexico.org/Biografias/ECP77.html>

^[10] Evolución histórica de los caminos rurales y alimentadores en México, Op. cit., pp. 27, 28.

municipios a construir caminos estatales e interestatales. De esta forma, los años treinta del siglo XX fueron trascendentes en el desarrollo de los caminos nacionales, pues el gobierno federal estableció que para construirlos debía adoptarse un Acuerdo de Cooperación entre los estados, lo cual determinó la apertura de caminos “modestos” que enlazaran a todos los pueblos, rancherías, comunidades agrarias y pequeños poblados que entonces estaban incomunicados y alejados de los caminos de la red troncal.

El anhelo de comunicación de cientos de nuevas poblaciones provocó que para 1947, la administración de Miguel Alemán organizara el Comité Pro-Carreteras Vecinales del Valle de Mexicali, semilla primigenia, no sólo de lo que más tarde fue el Comité Nacional de Caminos Vecinales, sino de lo que hoy conocemos como Caminos Rurales.

Las condiciones críticas de sequía vividas durante los años entre 1967-1977, exigió al gobierno federal la aplicación de programas que mitigaran las condiciones adversas de los campesinos mexicanos que necesitaban empleo y generar ingresos. La construcción de caminos se presentó entonces como una alternativa de trabajo masivo, así como de incremento de la infraestructura caminera y carretera de México. Los objetivos centrales fueron construir kilómetros carreteros, comunicar a los poblados que tuvieran entre 500 y 2 mil 500 habitantes y utilizar en cada una de las obras los recursos más abundantes en cada región.

Los resultados obtenidos por diversos programas implementados hasta la década de los ochenta del siglo pasado, permitió que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes iniciara en 1986, un proceso de transferencia de la red alimentadora y rural de caminos a los gobiernos de las entidades federativas.

Es importante destacar que, en las décadas de cierre del siglo XX, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes fomentó una política en caminos y carreteras que siguió el espíritu y vocación de su antecesora la SCOP, es decir, abrió e hizo caminos valiéndose de la cooperación y coordinación de los sectores público, privado y social con el fin de planear, construir, ampliar, modernizar y conservar el patrimonio vial de los mexicanos.

La dinámica urbana y regional de México cambio radicalmente durante las dos primeras décadas del siglo XXI, debido a la construcción, apropiación del lugar colectivo y uso de la nueva red carretera transversal diseñada al amparo de los llamados corredores del Tratado de Libre Comercio de América del Norte. Desde entonces, cuatro ejes carreteros este-oeste, complementaban la articulación nacional norte-sur.

A fin de incrementar la comunicación dentro del país, fue necesario realizar obras para la creación de infraestructura que agilizará la logística y con ello aumentar la comercialización y distribución de mercancías. Siendo necesario dotar a la infraestructura de los elementos suficientes para que su funcionamiento sea de manera eficiente, permitiendo a México ser un país con mayor productividad, lo que se traduce en mayores aportaciones para el país. Por lo que, estas vialidades son de importancia ya que propician un impacto socio-económico en la integración del territorio,

ya que ofrecen un servicio de interconexión para otro tipo de transporte, entre ellos: aeropuertos, terminales marítimas, estaciones de ferrocarril, aduanas, puentes y hasta destinos de interés turístico.

Los 15 corredores o Ejes de Transporte (ET) de México son un elemento importante, ya que proporcionan comunicación y acceso entre las seis regiones en que se divide el territorio nacional, permitiendo el rápido y fácil acceso a las principales ciudades, fronteras y puertos marítimos. longitud total de 19,230.8 km y de acuerdo a su trayectoria se clasifican en longitudinales y transversales.

Los ejes longitudinales de transporte son nueve y su trayecto es de Norte a Sur o de Sur a Norte, a continuación, se enlistan sus nombres:

- Transpeninsular de Baja California; su longitud es de 1,686.7 kilómetros.
- México – Nogales con ramal a Tijuana; su longitud es de 2,124.3 kilómetros
- Querétaro – Ciudad Juárez; su longitud es de 1,852.59 kilómetros
- México – Nuevo Laredo con ramal a Piedras negras; su longitud hacia Nuevo Laredo es de 1,116.87 kilómetros, del Ramal a Piedras Negras es de 417.05 kilómetros.
- Veracruz – Monterrey con ramal a Matamoros; su longitud hacia Monterrey es de 1,014.8, del Ramal a Matamoros es de 309.9 kilómetros.
- Puebla – Oaxaca – Cd. Hidalgo; su longitud es de 1,059.07 kilómetros
- México – Puebla – Progreso; su longitud es de 1,281.16 kilómetros
- Peninsular de Yucatán; su longitud es de 1,763.1 kilómetros
- Costera Pacifico; su longitud es de 1,764.9 kilómetros

Los ejes transversales de transporte son seis, los trayectos de estos son de Este a Oeste y viceversa; estos son los siguientes:

- Mazatlán – Matamoros; su longitud es de 1,159.7 kilómetros
- Manzanillo – Tampico con ramal a Lázaro Cárdenas; su longitud hacia Tampico es de 1,093.15 kilómetros, del Ramal a Lázaro Cárdenas es de 544 kilómetros.
- Altiplano; su longitud es de 635.14 kilómetros
- México – Tuxpan; su longitud es de 315.94 kilómetros
- Acapulco – Veracruz; su longitud es de 691.83 kilómetros
- Circuito Transístmico; su longitud es de 717.7 kilómetros

La naturaleza marítima de nuestras dos penínsulas explica por qué los corredores peninsulares son los que registran mayor cercanía con los puertos en los que sobresalen las actividades turísticas. En segundo lugar, le siguen los tramos carreteros costeros del corredor México-Tijuana, en el que el Pacífico Norte destaca por su vocación agropecuaria, y en tercer lugar el corredor que va de Veracruz a Matamoros, con una vocación industrial y comercial, situación que explica que exista proximidad con infraestructura marítima portuaria del orden de diez a doce puertos. En importancia

le siguen los ejes transversales que tienen entre tres y cinco puertos próximos y los corredores que cruzan el altiplano central del país con poca cercanía a puertos, así como el correspondiente a la costa chiapaneca.

Por su longitud, el corredor México-Nogales-Tijuana es el que registra mayor número de aeropuertos cercanos. Le sigue en importancia el México-Nuevo Laredo. Pero si se toma en cuenta a los ejes transversales (Mazatlán-Matamoros y Manzanillo-Tampico) que intersectan a este eje longitudinal, se puede pensar en un subsistema que está integrado de manera muy robusta en términos de infraestructura de transporte. Las penínsulas, el corredor Veracruz-Matamoros y el que va de Querétaro a Ciudad Juárez cuentan con menos aeropuertos cercanos, quedando en último lugar los segmentos carreteros de los ejes que conectan a los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas.

Los corredores que se encuentran cercanos al mayor número de terminales intermodales son el México-Nuevo Laredo y el México-Nogales-Tijuana. En orden de importancia le siguen los transversales que van del centro occidente hacia el norte del país. En tercer lugar, los transversales de la región centro y el Veracruz-Matamoros, y en último lugar los correspondientes a la región sur-sureste del México.

La jerarquía de las relaciones comerciales México-Estados Unidos se refleja claramente en la distribución y número de los centros logísticos cercanos a los quince corredores carreteros. El México-Nuevo Laredo es el que tiene el mayor número de vínculos con este tipo de centros, en segundo lugar, se encuentran los ejes México-Nogales-Tijuana y Querétaro-Ciudad Juárez, junto con los transversales Mazatlán-Matamoros y Manzanillo-Tampico. La región centro también agrupa a un buen número de centros logísticos por su peso socioeconómico y en último lugar se encuentra la región sur sureste de México.

Es importante mencionar que a pesar de las cuantiosas inversiones en infraestructura carretera que se han realizado a lo largo de décadas, no se ha logrado completar la modernización de los corredores y conectar adecuadamente a los nodos logísticos del país. Por lo que será un campo de oportunidad será realizar los estudios demográficos, económicos y sociales que permitan verificar la correcta gestión de la infraestructura de la red carretera nacional, la cual comprende desde su planeación, construcción, operación y modernización, hasta su conservación.



Imagen 7. Los 15 Corredores Carreteros en México por Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2023

En 2021, la SICT reportaba a través de su *Anuario Estadístico del Sector Infraestructura, Comunicaciones y Transportes* reportaba una longitud total de 401,366 km^[1] totales de Red Carretera; de las cuales 40 516 km^[1] corresponden a carretera libre, 10,912 km^[1] corresponden a carretera de cuota, 130,494 km^[1] corresponden a la red alimentadora y 161,178 km^[1] corresponden a la red rural. Con respecto al año anterior, se tuvo un crecimiento del 0.9% en la longitud total de la red y del 2.3% en la red rural, lo que indica un crecimiento a la red de accesos a las pequeñas comunidades que permanecían incomunicadas, si bien estos caminos en su mayoría son revestidos o están construidos mediante terracerías, se comienza con un pequeño avance para los caminos.

La realidad del México actual y lo que se espera en el futuro, han provocado modificaciones significantes; se espera una mayor cobertura de caminos pavimentados que cumplan con las exigencias del transporte carretero que va en crecimiento, por lo que se deberán modificar los métodos de diseño, así como en los procedimientos de construcción y las metodologías para evaluar y conservar las estructuras de los pavimentos que conforman las vías terrestres.

2.2 Clasificación.

Una clasificación es un ordenamiento o una organización de cosas en una serie de categorías o clases. Se pueden clasificar ideas, objetos o cualquier tipo de referente. Este procedimiento cobra importancia ya que, se establecen las categorías pertinentes a cada cosa y posteriormente establecemos relaciones entre ellas.

Existen muchas formas de establecer clasificaciones, por ejemplo, por la naturaleza de las cosas o según sus funciones, entre todas las posibilidades conviene destacar la clasificación jerárquica, eso

es, la manera de organizar los objetos en base a la importancia que tienen. Este tipo de clasificación fue utilizada en los primeros sistemas de organización de la información.

En México, para la concepción inicial y diseño de una carretera se define como un primer paso el tipo de camino a proyectar; considerando que, la infraestructura carretera en operación se cataloga según su tipo, la autoridad quien es la encargada de vigilar, mantener y construir los caminos de México, también determina la clasificación del tipo de camino de acuerdo a sus características; sin embargo, la clasificación, así como los caminos, han ido evolucionando, el constante desarrollo científico y tecnológico hacen que los criterios de proyecto del pasado, no necesariamente sean las más adecuadas para las condiciones actuales.

Actualmente, los caminos y puentes federales que han sido clasificados o que hayan tenido cambios en su clasificación, son publicados de manera oficial en el *Apéndice para la Clasificación de los Caminos y Puentes*, este documento es referido en el artículo 6o. del *Reglamento sobre el Peso, Dimensiones y Capacidad de los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal* en el Diario Oficial de la Federación; asimismo, de acuerdo al artículo 5o. de este mismo Reglamento se establece el peso, dimensiones y capacidad máximos de los vehículos, así como las configuraciones o combinaciones vehiculares, según el tipo de caminos y puentes por el que transiten de conformidad con lo previsto en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el cual es complementado con la 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.”* que tiene por objeto establecer las especificaciones de peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de autotransporte federal, sus servicios auxiliares y transporte privado que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal.

Por otra parte, el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras 2018, es el documento técnico que rige la clasificación de los caminos de forma técnica, al establecer las características con las que deben ser diseñados los caminos en México, y que con base a las características geométricas del camino puedan ser clasificados de manera uniforme, de manera que la clasificación establecida en el *Apéndice para la Clasificación de los Caminos y Puentes* se basa en lo establecido en este manual. Una clasificación sencilla y adecuada de los caminos permite conocer mejor la Red Carretera Federal y la Red de caminos del país, facilitando la gestión de la infraestructura, y ayuda a la toma de decisiones conjuntas, agrupando los caminos en una clase donde se posean las mismas características.

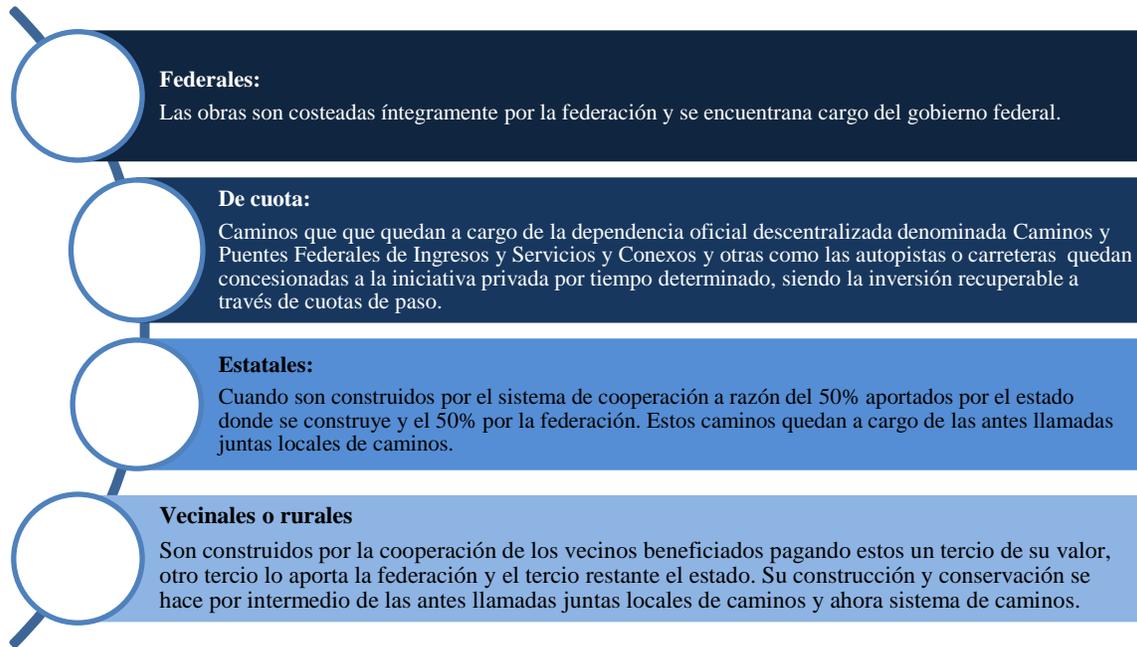
Actualmente el Manual de Proyecto Geométrico considera las siguientes clasificaciones:

2.2.1 Administrativa

Esta clasificación hace referencia a los diferentes niveles de responsabilidades gubernamentales, así como el financiamiento, modernización y conservación de estas vías.

Figura 5.

Clasificación administrativa de los caminos



Nota. Elaboración propia con base al Manual de Proyecto Geométrico para Carreteras, 2018.

Como se aprecia en la figura 5, como primer nivel se encuentran los caminos federales que son todos aquellos caminos donde el gobierno federal se hace cargo totalmente de su construcción y conservación, las dependencias federales que se encargan de llevar a cabo el seguimiento de estos caminos son: la Dirección General de Carreteras (DGC), encargados de elaborar y participar en conjunto con las unidades administrativas competentes, y en coordinación con la Dirección General de Planeación, en la planeación, coordinación, programación y evaluación de los programas de construcción y modernización de la red federal de carreteras, y la Dirección General de Conservación de Carreteras (DGST) es la responsable de las actividades propias del rubro de la conservación, con programas como: conservación rutinaria de tramos carreteros y puentes, conservación periódica a la infraestructura carretera, reconstrucción de tramos y puentes e instalación y reposición de señalamiento.

Por otro lado, los caminos de cuota, construidos mediante inversiones privadas y algunos otros instrumentos financieros público-privados, son administrados y construidos por la iniciativa privada, por lo que para la recuperación de su inversión, se lleva a cabo un contrato de concesión mediante el cual se les otorga a particulares o empresas el derecho para explotar alguno de los bienes o servicios durante un tiempo determinado, obligándolos también a que se lleve a cabo el mantenimiento necesario a la infraestructura a su cargo; la dependencia federal que tiene entre sus principales atribuciones realizar los procesos de licitación para el otorgamiento de concesiones de infraestructura carretera, de acuerdo al Reglamento Interior de la Secretaría de Comunicaciones y

Transportes, es la Dirección General de Desarrollo Carretero (DGDC), asimismo, Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios y Conexos (CAPUFE) es una institución que opera autopistas y puentes de cuota, y enfoca sus esfuerzos en mejorar la atención que se brinda a las personas usuarias mediante el uso de tecnologías en los tramos carreteros y puentes a su cargo, CAPUFE no desempeña actividades como construcción o planeación de la Red Carretera Federal.

2.2.2 Nomenclatura

La clasificación por número de ruta es de gran utilidad para la administración e identificación de las carreteras (rutas federales, MEX45; rutas estatales ZAC18; y rutas rurales AGS15).

Respecto a la nomenclatura de rutas, ésta consiste en asignar un número al itinerario que une dos puntos geográficos de la República, pudiendo ser entre otros: capitales estatales; puertos marítimos; puertos fronterizos, y zonas turísticas e industriales. Está conformada por un conjunto de vías, que siguen una trayectoria determinada; de tal manera que una ruta es el itinerario entre dos puntos, y se identifica alfanuméricamente.

La identificación alfanumérica consiste de seis caracteres: tres alfabéticos y tres numéricos; los alfabéticos designan si la ruta es federal o estatal, por lo que los caracteres correspondientes a las rutas federales son la apócope de México “MEX”, y los aplicables a los estados la apócope de que se trate, según la entidad a la que pertenezcan, siendo las excepciones Chiapas “CHIS”, Quintana Roo “QROO” y Michoacán “MICH” con cuatro letras; el número se dará según la orientación general que tenga con respecto a su ubicación geográfica; de tal manera que los que vayan en sentido norte-sur, sus números serán nones y los que tengan dirección este-oeste tendrán números pares; un ejemplo es la ruta MEX15 que va de la Ciudad de México, a Nogales en Sonora, y que está conformada por varias carreteras, entre ellas la México – Toluca. Obsérvese los ejemplos en la Imagen 8.



Imagen 8. Ejemplo de Señales Informativas de Identificación en carreteras, por la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes, Manual de Señalización Vial y Dispositivos de Seguridad, 2014.

2.2.3 Según su importancia

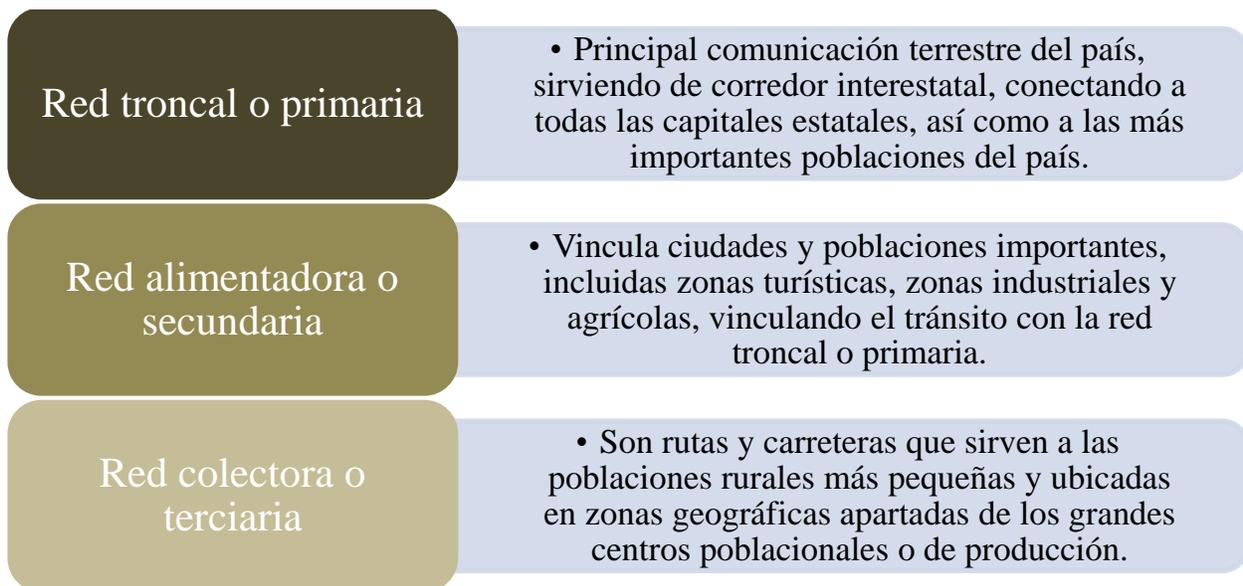
Las carreteras, por su importancia regional se pueden clasificar en Red troncal (primaria), Red alimentadora (secundaria), y Red colectora (terciaria); la clasificación se basa en el servicio

regional que proporcionan, y se desarrolló con propósitos de planeación, como una parte integral del crecimiento económico y social de cualquier país, obsérvese Figura 6.

- **Carreteras troncales:** Son vías principales que conectan dos o más ciudades, puertos, aeropuertos u otros lugares importantes, y son la ruta recomendada para trayectos de larga distancia y transporte de carga.
- **Carretera alimentadora:** Son vías que unen las cabeceras municipales entre sí y/ o provienen de una cabecera municipal y se conectan con una carretera primaria. Su construcción y mantenimiento es responsabilidad de los gobiernos del estado
- **Carretera colectora:** Son vías que son utilizadas para viajes de muy corto itinerario, normalmente constan de un solo cuerpo y una velocidad de proyecto mínima.

Figura 6.

Clasificación por importancia del camino de acuerdo al MPGC, 2018



Nota. Elaboración propia con base al Manual de Proyecto Geométrico para Carreteras, 2018.

2.2.4 Normativa

También considerada como técnica, ya que se respalda en las características geométricas de las carreteras a partir de datos básicos para proyecto geométrico, como son entre otros, el volumen horario de proyecto; el vehículo de proyecto; el nivel de servicio esperado en el horizonte de proyecto; velocidades de proyecto, distancias de visibilidad de parada, de rebase o de encuentro según sea el caso. Esta clasificación se convierte en un valioso instrumento legal que dicta las pautas para la circulación de los vehículos de carga. Asimismo, se tipifican los caminos en cinco categorías, iniciando con “ET” y “A”, cuyas prestaciones físicas y características geométricas permiten la circulación de cualquier tipo de vehículo, seguidos por los caminos tipo “B”, “C” y

“D” en los que se hacen algunas restricciones o prohibiciones, especialmente para los vehículos articulados.

La clasificación técnica en el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras 2018 contempla el diseño de la vialidad tomando como base a un vehículo de proyecto, el cual es un vehículo representativo cuyas dimensiones y características operacionales se usan para dimensionar los elementos de la carretera, las características físicas y operacionales de los vehículos de proyecto para cada tipo de carretera, y que se establecen en la *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.”*, la cual tiene por objeto regular sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte federal y que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal; de esta normativa se establecieron cuatro vehículos de proyecto y que son considerados en el MPGC 2018.

A partir de las actualizaciones de las características físicas de los vehículos de proyecto, se establecieron los anchos de sección transversal para cada tipo de carretera y se calcularon los valores de ampliaciones en las curvas horizontales. Asimismo, con las actualizaciones de las características operativas de los vehículos de proyecto, fue posible definir el efecto de la pendiente longitudinal, como la aceleración o deceleración en las tangentes de la alineación vertical, así como las variables de proyecto como: la longitud de los carriles auxiliares, las pendientes máximas de proyecto y longitud crítica entre otras.

Con base a esta clasificación, se constituye el instrumento legal que rige el tránsito de vehículos en los caminos de jurisdicción federal es el Apéndice para la clasificación de los caminos y puentes que se encuentra referido en el artículo 6° del Reglamento sobre el peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de autotransporte, que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal y en este documento se encuentran clasificados alrededor de 47 mil kilómetros de la RCF.

En la Tabla 2 se puede observar de manera resumida algunas de las características de los diferentes tipos de carreteras:

Tabla 2.*Tipos de carreteras y características principales.*

Tipos de carreteras y sus principales características						
Carretera Tipo	Número de carriles	Control de accesos	Denominación geométrica	Principal medida de efectividad	Sección Transversal	Vehículo de Proyecto
ET	Dos o más por sentido	Total	Eje de Transporte (Autopista)	Niveles de servicio en zonas de entrecruzamiento y tramos específicos o genéricos de la autopista.	Un cuerpo separado por barrera de concreto central, o dos divididos por una faja separadora central o dos cuerpos separados	T3-S2-R4 Peso Bruto Vehicular: 75.5 [ton] Largo 31 [m]
A	Dos o más por sentido de circulación	Total o parcial	Autopista o carretera libre	Niveles de servicio en zonas de entrecruzamiento y tramos específicos o genéricos de la autopista o de la carretera multi-carril.	Un cuerpo separado por barrera de concreto central o dos divididos por una faja separadora central o dos cuerpos separados	T3-S2-R4 Peso Bruto Vehicular: 75.5 [ton] Largo 31 [m]
B	Dos o más por sentido de circulación	Parcial	Carretera libre	Niveles de servicio en zonas de entrecruzamiento y tramos específicos o genéricos.	Un cuerpo separado por marcas en el pavimento o dos cuerpos divididos por una faja separadora central.	C3-R3 Peso Bruto Vehicular: 47.5 [ton] Largo 28.5 [m]
C	Uno por sentido de circulación	Parcial o sin control	Carretera Libre	Niveles de servicio en tramos específicos o genéricos de la carretera.	Un cuerpo	T3-R3 Peso Bruto Vehicular: 40 [ton] Largo 18.5 [m]
D	Uno por sentido de circulación	Sin control	Carretera Libre	Niveles de servicio en tramos específicos o genéricos de la carretera	Un cuerpo	C3 Peso Bruto Vehicular: 40 [ton] Largo 12.5 [m]
E	Uno para ambos sentidos de circulación	Sin control	Camino Rural	Probabilidad de encuentro y distancia entre libraderos. No aplican Niveles de servicio.	Un cuerpo	-

Nota. Elaboración propia, con base a las especificaciones indicadas en el MPGC, 2018.

2.2.5 Según su función

En la clasificación funcional, el agrupamiento de carreteras se encuentra en función del carácter del servicio que ellas proporcionan y fue desarrollado con fines de planeación y es la clasificación utilizada para diseño geométrico por las normativas más modernas.

Asimismo, esta clasificación considera que un sistema completo de diseño funcional, proporciona una serie de movimientos de recorrido diferentes y reconoce las seis etapas en la mayoría de los viajes incluyendo: movimiento principal, transición, distribución, colección, acceso y terminación.

Cada una de las seis etapas de un recorrido típico se maneja con una infraestructura independiente, diseñada específicamente para cumplir con su función. Debido a que la jerarquía de movimientos se basa en la cantidad total del volumen de tránsito, los viajes por autopista ocupan generalmente el punto más alto en la jerarquía de movimiento, seguidos por los viajes por arterias de distribución, los cuales a su vez están más arriba en la jerarquía de movimiento que los viajes en colectores y en rutas de acceso local (Obsérvese Imagen 9).

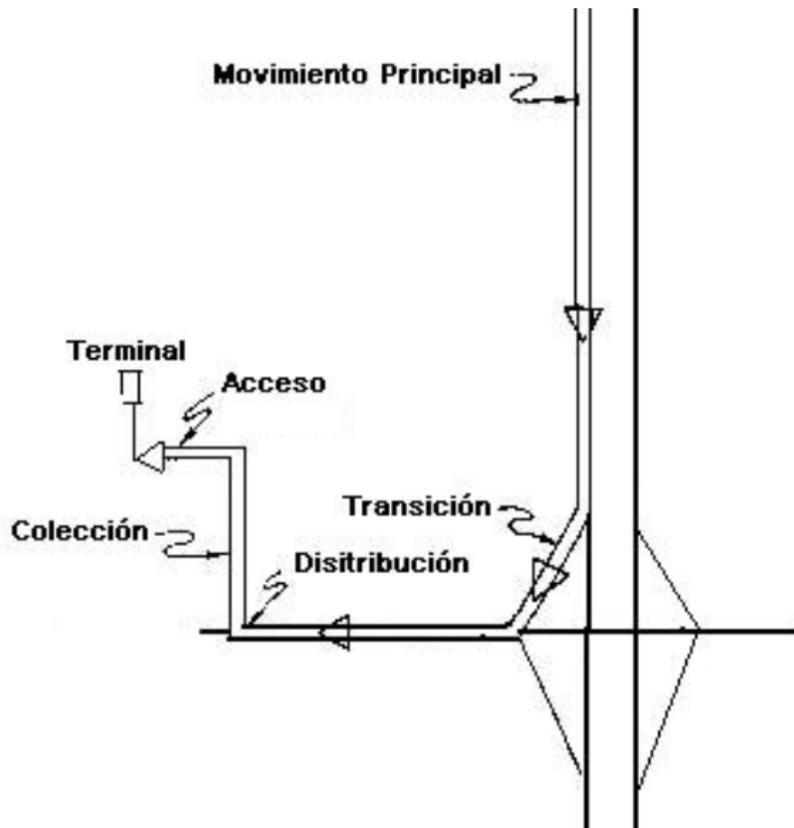


Imagen 9. Etapas de los movimientos de recorrido por Instituto Mexicano del Transporte, 2020.

De la imagen anterior, el movimiento principal consiste en el desplazamiento del vehículo en una arteria principal a muy altas velocidades de operación, en esta etapa es importante el señalamiento

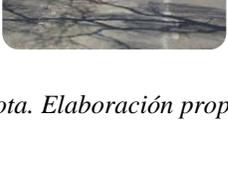
y el diseño de las transiciones de manera estratégica, de manera que el usuario pueda realizar las maniobras para su salida del tramo principal; la etapa de *transición*, consiste en la salida de la rama principal, esta etapa deberá ser bien señalizada y diseñada de manera que facilite la operación de salida al usuario; la etapa de *distribución*, considera la incorporación una vía secundaria en la que posibilita la distribución del flujo vial a distintos puntos de un centro poblacional, en esta etapa resulta útil el diseño de vías rápidas que permitan un desplazamiento eficaz y evitar congestionamientos; posteriormente, la etapa de *colección* considera un menor flujo de vehículos por lo que su diseño será a menores velocidades de operación (50 km/h), en estos segmentos de camino el comportamiento del usuario se verá afectado con la instalación de dispositivos de control de la velocidad; para finalizar, la etapa de *acceso* considera un diseño vial simple, un bajo flujo vehicular y velocidades de operación entre los 20 y 40 km/h, las exigencias para estos caminos consisten en un adecuado control de la velocidad a través de señalamiento debido a la presencia de peatones. La etapa *terminal* consiste en la llegada del usuario a su destino.

Cada uno de los elementos de la jerarquía funcional puede funcionar como infraestructura de captación para el elemento inmediatamente arriba, pero un elemento deberá estar presente únicamente cuando se requiera el colector intermedio para satisfacer las necesidades de espacio y las demandas de volumen vehicular de la infraestructura inmediatamente superior. Al definir las necesidades de separación y las demandas de tránsito vehicular para un elemento del sistema, es posible determinar en cuáles casos se debería usar el sistema completo y en cuáles se podrían evitar elementos intermedios.

En la Figura 7, se muestran como un ejemplo algunos elementos que sirven como parte de un control del tránsito de acuerdo a las funciones que dará la vialidad, acorde a estos elementos es posible realizar adecuaciones a la funcionalidad de las vías ya sea agregando o quitando elementos; refiriéndonos a la Imagen 9 donde se esquematizan las distintas etapas de un viaje, para el adecuado proceso o desarrollo de estas etapas se requieren de diversos elementos que permitan la óptima operación de las vialidades, por ejemplo, se desea llevar a cabo un viaje de la Ciudad de México a Guadalajara, el movimiento principal es el tránsito en carretera o autopista, si el viaje es realizado en carretera se sacrificaría el tiempo de traslado, ya que la carretera atravesaría poblados y con ello aumentaría nuestro tiempo de traslado al no contar con elementos que restrinjan por completo los movimientos direccionales, sin embargo, si el tránsito es realizado en autopista, el tiempo de traslado disminuye y se alcanzan mayores velocidades de operación, ya que esta alternativa contempla la instalación de elementos como un control total de accesos, el cual que prohíbe las entradas y salidas de vehículos a la vialidad, y un camino dividido por faja separadora, lo que permitiría alcanzar mayores velocidades de operación y aumentando la seguridad vial en el tramo, elementos que modifican su funcionalidad para ser considerada como una opción más directa para la realización del viaje. Si bien ambas opciones llevan al mismo punto de destino, no tienen la misma funcionalidad, la carretera sirve como un movimiento principal, de transición y distribución a los poblados cercanos, mientras que la autopista tiene como función hacer únicamente el movimiento principal de traslado.

Figura 7.

Clasificación según su función

	<p>Control total de accesos</p> <p>Significa que se le da preferencia al tránsito de paso, y que solo existen conexiones con otros caminos en puntos seleccionados de la autopista, prohibiéndose, además, las intersecciones a nivel y los accesos directos a propiedades privadas.</p>
	<p>Control parcial de accesos.</p> <p>Significa que se le da preferencia al tránsito de paso, y que además de las conexiones con otros caminos en puntos específicos, pueden existir algunas intersecciones a nivel y accesos directos a propiedades privadas.</p>
	<p>Camino dividido.</p> <p>Camino con circulación en dos sentidos en el cual el tránsito que circula en un sentido es separado del tránsito que circula en sentido opuesto, por medio de una faja separadora central. Tales caminos no pueden estar contruidos por dos o más carriles en cada sentido.</p>
	<p>Camino no dividido.</p> <p>Camino sin faja separadora central, que separe los movimientos en sentido opuesto.</p>
	<p>Camino de dos carriles: Camino no dividido, con circulación en ambos sentidos que tiene un carril destinado a cada sentido de circulación.</p>
	<p>Camino de tres carriles: Camino no dividido, con circulación en ambos sentidos, que tiene un carril central destinado para maniobras de rebase, en el cual se pueden circular en los dos sentidos y los otros dos carriles están destinados para cada uno, para el uso exclusivo del tránsito que circula en sentidos opuestos.</p>
	<p>Camino de carriles múltiples: Camino no dividido, con circulación en ambos sentidos, que tiene cuatro o más carriles para el tránsito.</p>
	<p>Arteria urbana.</p> <p>Camino principal en zona urbana, para el tránsito de paso generalmente sobre una ruta continua.</p>
	<p>Vía rápida.</p> <p>Camino dividido destinado al tránsito de paso con control total o parcial de accesos y generalmente con pasos a desnivel en intersecciones importantes.</p>

Nota. Elaboración propia, con base a las especificaciones indicadas en el MPGC, 2018.

2.2.6 Observado en la práctica.

De las clasificaciones mencionadas anteriormente, en la práctica suelen diferir con respecto a lo plasmado en los manuales, por lo que la clasificación de los caminos obedece además a otros factores los cuales no son necesariamente a los técnicos ya mencionados; por ejemplo, la Dirección General de Conservación de Carreteras (DGCC) clasifica las carreteras en tres tipos siendo estos los siguientes: Red de Corredores, Red Secundaria y Red Básica, las cuales no se especifican en ningún documento oficial la caracterización técnica de estos grupos de caminos, por lo que se pueden inferir sus características observando y analizando cada camino que pertenece al grupo, sin embargo, no sería de gran utilidad conocer a detalle estas clasificaciones porque para otras dependencias gubernamentales, la clasificación se rige de acuerdo a lo establecido en el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras 2018.

La clasificación utilizada por la DGCC que difiere con la establecida conforme a la normativa correspondiente, diversifica las maneras de clasificar un mismo objeto para este caso en particular la Red Carretera Federal, esta diversificación de tipologías en realidad no debería representar mayor inconveniente ya que cada organismo tiene sus propios requerimientos de información, el problema reside que en algunos casos no existe correspondencia entre las diferentes categorías establecidas de otras dependencias; esta diferencia entre clasificaciones provoca discrepancias en algunas fuentes de información oficial tales como los *Anuarios estadísticos de accidentes en carreteras federales* los cuales tienen como principal objetivo, ser una fuente de información los registros de los hechos de tránsito que levanta la Guardia Nacional (antes Policía Federal) y que una de las actividades que implica la continua actualización de esta información es la elaboración del Catálogo de Carreteras, es decir, el listado de tramos vigilados por la Guardia Nacional (GN); esta labor es necesaria ya que cada año a la infraestructura se le suman kilómetros de nuevas carreteras y, aunque parezca extraño, también se restan kilómetros. Esta última idea se refiere a aquellos tramos que la SICT otorga o cede a los gobiernos municipales o estatales.

Asimismo, otro de los problemas que se han observado con respecto a la clasificación es lo presentado en el Apéndice para la clasificación de los caminos y puentes que se encuentra referido en el artículo 6° del *Reglamento sobre el peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de autotransporte*; en este documento se tiene la clasificación oficial de los caminos y puentes de jurisdicción federal y que rige sobre el tránsito de vehículos de dimensiones especificadas en dicho reglamento; en este documento se presentan casos donde las carreteras se encuentran fuera de su clasificación técnica, ya sea sub-clasificadas o sobre-clasificadas, lo que quiere decir que, los caminos fueron diseñados con características distintas a las que hace referencia dicho reglamento y que son clasificadas como un tipo de carretera de mayores especificaciones o de menores especificaciones, por ejemplo, la clasificación presentada en la carretera Ciudad Guzmán – Sayula en el estado de Veracruz, la cual es clasificada como un camino tipo A2, sin embargo esta clasificación no concuerda con las bases del MPGC 2018 las cuales establecen que para los caminos tipo A2 se debe tener un ancho de corona de al menos trece metros (13 m), siete metros para la calzada y seis metros para los acotamientos externos en cada sentido de circulación, desde

este punto si únicamente consideramos el tema de la sección transversal no cumpliría para los requisitos geométricos establecidos en el MPGC 2018 para un camino tipo A2 (Obsérvese Imagen. 10); sin embargo, el Apéndice para la clasificación de los caminos y puentes, el cual se basa en las características geométricas de los caminos de acuerdo al MPGC 2018, clasifica este camino como un tipo A2 a pesar de no contar con las características geométricas necesarias, siendo este un ejemplo de muchos otros y que son los de mayor relevancia para su actualización o corrección y de esta manera mejorar el uso de las vías de comunicación así como para el mejoramiento de la seguridad vial de estas mismas.

REGLAMENTO SOBRE EL PESO, DIMENSIONES Y CAPACIDAD DE LOS VEHICULOS DE AUTOTRANSPORTE QUE TRANSITAN EN LOS CAMINOS Y PUENTES DE JURISDICCION FEDERAL

270	CARBONERA - ENT. (CARR. ENT. MORELOS - SALTILLO)	62	111.1	D
280	CELAYA - OJUELOS	51	197.9	B2
290	CHAMAPA - LA VENTA (DIRECTO)	N/D	15	A4
300	CHAPULLA - COMPOSTELA (DIRECTO)	N/D	35.5	A2
310	CHENCOLLU - UMAN	261	201.9	D
320	CHIHUAHUA - CD. JUÁREZ		345.3	
	CHIHUAHUA - SACRAMENTO (DIRECTO)	45 D	21.3	ET4
	SACRAMENTO - EL SUECO	40	127	ET4
	EL SUECO - VILLA AHUMADA (DIRECTO)	45 D	87	ET4
	VILLA AHUMADA - CD. JUÁREZ	45	110	ET4
330	CHIHUAHUA - MADERA	16	150.8	
	CHIHUAHUA - CUAUHTEMOC	16	130.5	B4
	CUAUHTEMOC - LA JUNTA	16	47.3	C
340	CHIHUAHUA - OJINAGA	16	230.7	
	CHIHUAHUA - ALDAMA	16	26.8	B4
	ALDAMA - OJINAGA	19	203.9	C
350	CHILPANCIINGO - ACAPULCO	95	123.5	C
360	CHILPANCIINGO - ACAPULCO (DIRECTO)	95 D	91	ET4
370	CHILPANCIINGO - TLAPA	51	180	D
380	CIUDAD ALEMÁN - SAYULA	145	136.5	A2

5 CARR: Cd. Alemán - Sayula AÑO: 2023



LUGAR		E S C O O R D E N A D A S	
	KM	LATITUD	LONGITUD
Cd. Alemán	0.00	18.181750	-96.094483
Lim. Edos. Term. Ver. Ppia. Oax.	2.80		
Puente Papaloapan	3.50	18.159601	-96.096694
T. Der. Tuxtepec	9.36	18.118354	-96.061684
T. Izq. Loma Bonita	30.00	18.095676	-95.879367
T. Izq. Loma Bonita	30.00	18.096045	-95.862760

Ancho de Calzada	m	ET2, A2	ET4, A4
		7.0	2 X 7.0
		2 carriles	4 Carriles
Ancho de Corona	m	13.0	≥ 23.0
		Un cuerpo	Un cuerpo
Ancho de Acotamientos	m	3	3.0 Exterior mínimo
			1.0 Interior
Ancho de Faja Separadora Central, incluidos los acotamientos interiores	m	-	≥ 3.0



Imagen 10. Ejemplo de la carretera Ciudad Alemán – Sayula que no cumple con la clasificación técnica indicada en el MPGC 2018, elaboración propia a través de Google Earth.

Por otra parte, existen casos donde un camino recientemente modernizado cuenta con una clasificación menor en el Apéndice para la clasificación de los caminos y puentes, lo anterior sucede debido a que la reclasificación de los caminos y puentes de jurisdicción federal debe pasar por un largo proceso para su análisis y aprobación por las diferentes autoridades encargadas de dictaminar la clasificación de los caminos, por lo que este documento requiere de actualizaciones

continuas y permanentes para ser realmente eficiente, ya que en casos en los que se requiere que el autotransporte de carga circule por dichos caminos ya modernizados, legalmente se encuentra impedida su circulación por la clasificación otorgada en el *Apéndice para la clasificación de los caminos y puentes*.

La clasificación de las carreteras juega un papel muy importante en el movimiento de mercancías, ya que para el transporte se deben contar con caminos que cumplan con las características geométricas necesarias para su correcta operación; sin embargo, se tienen caminos que no cuentan con estas características geométricas pero que son una vía disponible para la conexión óptima entre nodos logísticos y ejes de transporte, por ello se favorece el uso de rutas alternas que tengan como función la interconexión; por ello se considera que en los casos de sobreclasificación de una carretera en el *Apéndice para la clasificación de los caminos y puentes*, uno de los factores de mayor relevancia para su clasificación también es la conexión que tiene esa vialidad con los Ejes de Transporte o Nodos Logísticos, una sobreclasificación facilitaría el proceso para la adquisición de permisos para la interconexión de dos puntos industriales o Ejes de Transporte, en el caso del transporte de mercancías; no obstante, dicha aseveración no puede ser afirmada ya que no se cuentan con documentos oficiales que avalen la teoría, sin embargo, es una posibilidad ya que en el ejercicio de la profesión se ha observado como un patrón en aquellas carreteras sobreclasificadas y que unen a dos Ejes de Transporte o Nudo Logístico, por lo que para su confirmación se requiere de un mayor estudio para cada caso particular, y que es estudio no es objeto para este trabajo.

Cabe destacar que para el tránsito de vehículos que no cumplan con las dimensiones especificadas de acuerdo a la clasificación del camino donde se planea circular, deben ser solicitados los permisos necesarios a la Dirección General de Autotransporte Federal (DGAF) para realizar el análisis correspondiente y autorizar su acceso y circulación, y que una vez autorizado, se deberán cumplir con las condiciones impuestas por esa Dirección General para su tránsito seguro, contemplados en la *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.”*

Por lo anteriormente expuesto; en los casos prácticos y legales, la clasificación de una carretera estará basada a las necesidades de las dependencias oficiales interesadas en clasificar los caminos, ya sea para facilitar su identificación y agrupación o para cumplir con los requisitos de movilidad del transporte de carga, los cuales son necesarios para la economía en un país.

Durante el año 2023, fueron realizadas reuniones de trabajo para la actualización y modificación del Apéndice para la clasificación de los caminos y puentes para una clasificación uniforme y de acuerdo a lo establecido en el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras 2018, y considerando las modernizaciones llevadas a cabo en la RCF.

Capítulo III: ELEMENTOS BÁSICOS DEL DISEÑO GEOMETRICO DE UNA CARRETERA

El proyecto geométrico de carreteras es el conjunto de trabajos que comprenden los estudios de campo, la selección de la ruta, la determinación de los parámetros de diseño, el análisis y cálculo del alineamiento vertical y horizontal de carreteras, que tienen como resultado la geometría general de un camino o intersección, así como los volúmenes de material necesarios para realizar la construcción.

Las vialidades son diseñadas con características geométricas que permiten el tránsito seguro y un funcionamiento óptimo para todos los vehículos que circulan en ellas, recordemos que un vehículo estará sujeto a diversos fenómenos físicos que determinarán la trayectoria y control del mismo, por ello, un mal diseño del camino puede ser la raíz de siniestros viales durante la operación propiciando además la generación de sitios con una mayor frecuencia de siniestros, también denominados puntos de conflicto. Por ello, para evitar la generación de estos sitios es necesario de la investigación de procedimientos y buenas prácticas para el diseño y construcción de los caminos; para lograrlo es necesario tomar como punto de partida aquellos países donde se han implementado procedimientos para el diseño de sus caminos y analizar sus resultados reportados; posteriormente realizar las comparativas pertinentes y en su caso complementar o descartar información, para finalmente adecuar los procedimientos hallados al entorno al que se planea implementar; una vez realizado lo anterior se procederá a llevar a cabo las pruebas de campo necesarias y obtener información al respecto de las medidas implementadas, este proceso es cíclico ya que en caso de presentar resultados no favorables se optarán por nuevas medidas que mejoren los resultados antes obtenidos.

En sus orígenes, la normativa para el proyecto geométrico de carreteras a nivel mundial, se generó a partir de suposiciones empíricas y pruebas de campo acerca del comportamiento vehicular para los vehículos y las condiciones prevalecientes en ese momento. Sin embargo, con el paso de los años se han alcanzado mayores conocimientos y las condiciones de la operación carretera han variado significativamente en todas las regiones del mundo. Por lo anterior, se debe considerar que la investigación y desarrollo es un factor que acelera el crecimiento económico y, a la vez, juega un papel muy importante como elemento determinante para la construcción de sociedades más sostenibles y susceptibles de preservar mejor los recursos; sin embargo, algunos de los problemas que enfrentan los países en desarrollo en cuanto a la investigación es el recurso económico, esto limita sus alcances en las mejoras y no permite una adecuada adaptación de las metodologías que han sido estudiadas en otras regiones.

Las normativas mundiales implementadas en diversos países tuvieron un desarrollo continuo a lo largo del tiempo, todas ellas rigiéndose por el contexto social, político, económico y tecnológico que se presentaba al momento de su desarrollo, de modo que existían diversas consideraciones,

características y diseños que no podrían ser reproducidos e implementados sin haber sido estudiados y adaptados al entorno en el que se encontraban las vialidades del país.

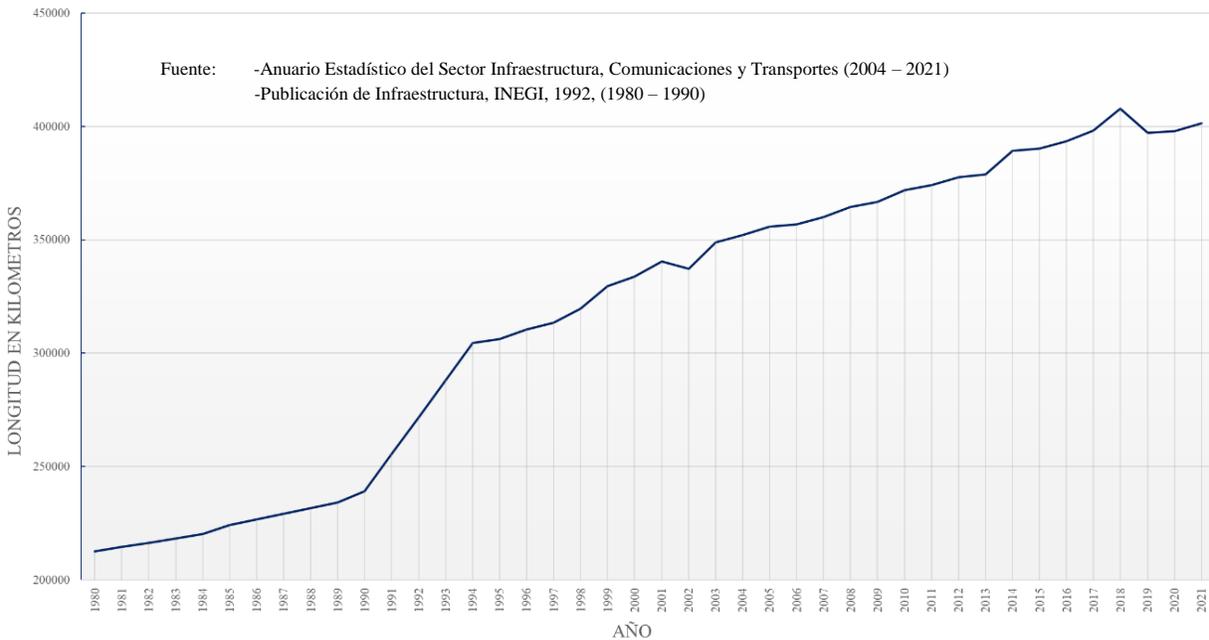
En México, la normativa que rige el diseño de los caminos en el país, utiliza como referencia las investigaciones realizadas en Estados Unidos, dada la cercanía geográfica y conexión entre las fronteras de ambos países, los caminos siguen un diseño similar; por lo que, para la correcta implementación de las investigaciones realizadas en EE.UU.AA., primero se convocan mesas de trabajo con comitivas integradas de expertos en el tema y autoridades que analizan, desarrollan y adaptan los estudios extranjeros realizados, y ajustándolos a las condiciones de la infraestructura mexicana existente, una vez concluido su estudio y haber generado las observaciones y recomendaciones, se turnan a las respectivas dependencias para su aprobación o comentarios para que finalmente el trabajo culmine con su publicación en el Diario Oficial de la Federación (DOF); el cual es el órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, que tiene la función de publicar en el territorio nacional: leyes, reglamentos, acuerdos, circulares, órdenes y demás actos expedidos por los poderes de la Federación, a fin de que éstos sean observados y aplicados debidamente en sus respectivos ámbitos de competencia.

La *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), una de las principales instituciones encargadas del desarrollo de recomendaciones relacionadas con la legislación del transporte y sobre temas actuales de interés en EE.UU, se ha destacado en materia de diseño geométrico de las carreteras; en 2011 publicó su manual denominado “*Policy on Geometric Design of Highways and Streets*” (Política en el Diseño Geométrico de Calles y Carreteras), también conocido como “Libro Verde”, la intención de esta política es brindar orientación al diseñador haciendo referencia a un rango recomendado de valores para dimensiones críticas, este documento no pretende ser un manual de diseño detallado que pueda reemplazar la necesidad de la aplicación de los principios sólidos por parte de un profesional del diseño, y permite suficiente flexibilidad para fomentar diseños independientes adaptados a situaciones particulares.

Por otro lado, en México, la SICT a través de la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST), quien es la dependencia encargada de brindar apoyo técnico integral y multidisciplinaria para la planeación, estudio, diseño, proyecto, construcción, conservación y operación de la red nacional de carreteras y que participa en la elaboración de normas y manuales conformado por un grupo de profesionales y técnicos altamente capacitados organizados territorialmente para atender solicitudes de las Unidades Administrativas receptoras, basan la normativa en publicaciones e investigaciones extranjeras, adecuando lo necesario a las condiciones actuales del tránsito en el territorio mexicano, por lo cual podremos notar que la normativa mexicana considera algunos criterios de diseño establecidos en el “Libro Verde” de EE.UU.

Figura 8.

Crecimiento de la longitud de la Red Nacional de caminos, elaboración propia.



Nota. Elaboración propia, con datos obtenidos de la publicación del INEGI México Hoy, Sección Infraestructura p. 16, año 1992 y del Anuario Estadístico del Sector Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.

Conforme a los datos del Anuario Estadístico de la SICT y a publicaciones realizadas por la SICT durante el año de 1992, ambos mostrados de manera gráfica en la Figura 8, se observa un crecimiento continuo en la longitud de la Red Nacional de Caminos, durante el periodo 1980 a 2000, fueron unificados los criterios para que vialidades formarían parte de la Red Nacional de Caminos, dando como resultado un aumento considerable en la Red, ya que cada vez más caminos cumplían con las características geométricas requeridas y podían considerarse como carreteras y caminos federales. Es importante destacar que, en las décadas de cierre del siglo XX, la entonces Secretaría de Comunicaciones y Transportes fomentó una política en caminos y carreteras que siguió el espíritu y vocación de su antecesora la SCOP, es decir, abrió e hizo caminos valiéndose de la cooperación y coordinación de los sectores público, privado y social con el fin de planear, construir, ampliar, modernizar y conservar el patrimonio vial, los objetivos centrales fueron construir kilómetros carreteros, comunicar a los poblados que tuvieran entre 500 y 2 mil 500 habitantes y utilizar en cada una de las obras los recursos más abundantes en cada región; sin embargo, se relegó la seguridad, los costos de operación vehicular y el impacto ambiental, en aras de construir la mayor cantidad posible de infraestructura. Sin reconocer que, en el diseño de nuevas carreteras, así como en la reconstrucción de las existentes, debe darse particular atención a la seguridad vial como un criterio principal de proyecto.

Anteriormente, el criterio general de proyecto se derivaba de la política nacional en materia de carreteras. Esa política se expresó en una premisa general: “*México necesita más caminos, antes que mejores caminos*” (SCOP-1985). Sin embargo, tal premisa con el paso del tiempo fue perdiendo validez, pues actualmente se requieren más y mejores caminos. No obstante, el criterio convencional para el proyecto geométrico de carreteras sigue siendo válido, pues se basa en el empleo de normas de proyecto, que dimensionan los componentes de la carretera, por separado y en conjunto, para lograr un balance adecuado entre los atributos deseables.

Actualmente, la seguridad juega un papel muy importante en el diseño y construcción de las obras carreteras en el mundo, y México ha logrado grandes avances en materia de seguridad vial a través de programas de mejoramiento de la infraestructura; no obstante, no se ha llegado a cumplir con la meta esperada de disminuir al 50% las víctimas mortales de siniestros viales, por ello la normativa nacional ha estado en constante desarrollo a través de grupos de trabajo conformados por el sector público, privado, y académico con la tarea de revisar la normativa y proponer mejoras encaminadas a la reducción de la accidentabilidad y de sus víctimas, desde sus diferentes perspectivas. Es posible emitir propuestas de mejora que aborden a todos los usuarios de las vialidades; además, con ello se avanza en el cumplimiento de la Meta 4 establecida en el *Plan Mundial 2021 – 2030*, en la que se recomienda que los Estados lleven a cabo la revisión y actualización de la legislación y las normas de diseño para que estas tomen en cuenta la función de las vías de tránsito y las necesidades de todos sus usuarios, por lo que la normativa deberá integrar nuevos aspectos que influyan en la seguridad sin menospreciar los costos y el impacto que tendrá la obra.

Aunque también existen algunas dudas sobre la verdadera incidencia que el cumplimiento de las Normas establecidas tiene sobre la seguridad en los proyectos carreteros, ya que las comisiones encargadas de su redacción se han basado en conjeturas sobre las causas de la siniestralidad en lugar de tomar como partida los datos estadísticos de frecuencia y gravedad de los siniestros y su relación con la geometría de la vía, los cuales actualmente dejan muchos huecos sin resolver, por lo que se tiene mucho camino aún por recorrer para el desarrollo de normativas que brinden a los usuarios un diseño seguro que considere íntegramente todos los factores que contribuyen en el suceso de siniestros de tránsito.

3.1 Normativa aplicable en materia de proyecto geométrico.

En México han sido publicados diversos manuales en los cuales se dan las recomendaciones para una correcta planeación de las obras viales, estos no son de carácter obligatorio y ninguna persona está obligada a cumplir con sus disposiciones. Por otro lado, se han publicado normas las cuales refieren al uso de manuales, estas normas son de carácter obligatorio y por ello dan una obligatoriedad el uso de los manuales referidos.

Un manual puede ser definido como un documento que describe con detalle los procesos y aspectos importantes a tomar en consideración durante las etapas de un proyecto; a través de estos se presenta una visión conjunta del grupo de trabajo que elaboró dicho Manual y se propicia la

uniformidad en los procedimientos, sin embargo, un manual no puede ser considerado como una norma ya que no es obligatorio su cumplimiento durante la elaboración del proyecto.

Por otro lado, una norma se define como una regla que regula la conducta de personas en una determinada sociedad, por lo que todas las personas están vinculadas a diversas clases de normas, como las jurídicas, morales, religiosas, del trato social y técnicas, siendo de nuestro interés estas últimas.

Las normas técnicas establecen especificaciones sobre procesos de producción, resultado de la experiencia y desarrollo tecnológico, para la fabricación de determinados productos o servicios.

Los primeros manuales y normas incorporaban muchos supuestos, pero muy poca experiencia sobre el comportamiento real del tránsito sobre las carreteras. En México, como en otros países, a medida que las condiciones de las carreteras, los vehículos y el medio ambiente han cambiado con los años, además de adquirir mayor conocimiento sobre el comportamiento real, también se han ido incorporando nuevos aspectos en las normas de proyecto geométrico de las carreteras.

A manera de ejemplo, para la medición de las distancias de visibilidad de parada se asumió originalmente un valor de proyecto para una altura del objeto, de 15 cm. Sin embargo, se ha observado que la frecuencia de colisiones contra objetos de ese tamaño o menores, es baja. Además de que en la mayoría de los sitios donde ocurren tales accidentes no hay problemas de visibilidad y que en la mayoría de los casos las consecuencias no son severas.

Asimismo, hace 50 años el vehículo de carga más largo tenía alrededor de 15 m entre ejes extremos. Sin embargo, actualmente está autorizada la circulación de vehículos de carga con casi 30 m entre ejes extremos. Este segundo ejemplo ilustra cómo las características vehiculares han variado de una forma casi inimaginable, esto gracias al desarrollo de tecnologías que cada día avanzan aún más rápido.

A continuación, se abordarán algunos de los documentos publicados por la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT) para llevar a cabo la uniformidad en el diseño geométrico de los caminos en el país:

3.1.1 Normas de Servicios Técnicos, Proyecto Geométrico edición 1984

La SICT emitió la primera Norma en materia de Proyecto Geométrico en el país, esta fue publicada en el año de 1984, y estandariza algunos de los aspectos más importantes en el diseño geométrico de la vialidad, tomando como base algunos de los principales fenómenos físicos que experimenta un automóvil al circular sobre el camino.

El contenido de esta norma es el siguiente:

1. Descripción de la Norma y Definiciones
2. Clasificación y Características de las Carreteras
3. Distancia de Visibilidad

4. Características Geométricas
5. Recomendaciones Generales

Si bien, las obras construidas en años previos a su publicación no fueron diseñadas cumpliendo con los criterios establecidos, fue de utilidad para llevar a cabo las adecuaciones geométricas a aquellos caminos que lo requirieran, así como para el diseño geométrico de las nuevas vialidades

Dicha edición contempla al Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) y la velocidad de proyecto como los factores determinantes para la clasificación de las carreteras, siendo de igual manera el tipo A la de mayores especificaciones de acuerdo al TDPA y la velocidad de proyecto.

Tabla 3.

Tipo de Carretera de acuerdo a la clasificación en las Normas de Servicios Técnicos, Proyecto Geométrico edición 1984

Tipo de Carretera	E	D	C	B	A2	A4
TDPA en el Horizonte de Proyecto. (Veh/día)	Hasta 100	100 a 500	500 a 1,500	1,500 a 3,000	3,000 a 5,000	5,000 a 20,000
Velocidad de Proyecto (Km/ h)	30 a 70	30 a 70	40 a 100	50 a 110	80 a 110	80 a 110

Nota. Adaptada de las Normas de Servicios Técnicos, Proyecto Geométrico del año 1984, p.7, por la Dirección General de Servicios Técnicos.

De la clasificación mostrada en la Tabla 3, se observa que el factor con mayor influencia para clasificar un camino es el volumen vehicular (TDPA), por lo que un camino de altas especificaciones debe tener una sección transversal con la capacidad de permitir el tránsito de grandes volúmenes de vehículos; así mismo debía cumplir algunos de los parámetros de diseño geométrico establecidos en esos momentos que permitieran la circulación de los vehículos a las velocidades de operación más óptimas de aquella época, recordemos que los vehículos actuales (2024) no operan a las mismas velocidades de los vehículos de aquellos años (1970 – 1990).

Es destacable que en esta normativa se establezcan recomendaciones generales sobre el proyecto geométrico, tales como las siguientes:

- La velocidad de proyecto, se seleccionará de acuerdo a la severidad de las condiciones topográficas y a la función de la carretera.

- Las tangentes muy largas pueden resultar peligrosas, sobre todo para carreteras con altas velocidades de proyecto. Esta situación podrá evitarse sustituyendo dichas tangentes por otras de menor longitud unidas entre sí por curvas suaves.
- El grado de las curvas circulares se debe elegir de manera que se ajusten lo mejor posible a la configuración del terreno.
- Se proyectarán alineamientos con cambios de pendientes suaves, en vez de tangentes verticales con variaciones bruscas de pendiente.
- Cuando el terreno lo permita y no se incremente sensiblemente el costo de construcción, las curvas verticales deberán proyectarse para satisfacer las distancias de visibilidad de rebase.
- Los alineamientos horizontal y vertical deben estar balanceados. Las tangentes o las curvas horizontales suaves en combinación con pendientes fuertes y curvas verticales cortas, o bien una curvatura con pendientes suaves corresponden a diseños pobres. Un diseño apropiado es aquel que combina ambos alineamientos ofreciendo el máximo de seguridad, capacidad, facilidad y uniformidad en la operación, además de una apariencia agradable dentro de las restricciones impuestas por la topografía.

Dichas recomendaciones proporcionan principios de seguridad vial en el diseño de las vías; además, al encontrarse dentro de la norma para Proyecto Geométrico, estas deben ser cumplidas en su totalidad.

Actualmente esta norma posee una gran aceptación por los proyectistas, ya que presenta de manera práctica y precisa los valores de diseño para cada aspecto que aborda, esto lo logra a través de tablas, graficas, representaciones y figuras, además, presenta las expresiones matemáticas para cada uno de los aspectos anteriores, esto con objeto de ser determinado de manera numérica en caso necesario, de igual manera, presenta definiciones claras y concisas que facilitan el entendimiento del cálculo. Algunos caminos hoy en día aún siguen diseñándose con los criterios de esta norma, aunque su uso ya no es válido para el diseño de nuevas vialidades y deberá ser utilizada únicamente como una referencia.

3.1.2 Manual de Proyecto Geométrico en Carreteras, 2018 (MPGC,2018)

En el 2016, se produjo un Manual de Proyecto Geométrico publicado por la SCT; y a finales de 2018, tras dos años de revisiones y consultas, fue publicada una versión definitiva de este Manual, cuya actualización incorpora nuevas directrices destinadas a diseñar rutas de comunicación más seguras

El Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras 2018, tiene el objetivo principal de proporcionar los procedimientos y métodos de diseño que se necesitan realizar para elaborar el proyecto ejecutivo de una carretera, que van desde su planeación en gabinete a través de estudios económicos, sociales, políticos, medioambientales, hasta la conformación de la Carpeta Técnica del Proyecto Ejecutivo, que contiene todos los estudios de ingeniería como son proyecto geométrico, ingeniería de tránsito, geotecnia, hidrología e hidráulica, entre otros.

Entre las actualizaciones presentadas en este manual se encuentra lo siguiente:

- Respecto al factor humano, se incluyen las recientes investigaciones sobre el conductor, tales como: su visión, en la cual se considera un cono de visión periférica de 120° a 160°; los tiempos de reacción, los cuales se mantienen los 2.5 segundos para el 90% de las situaciones habituales, y se consideran tiempos diferentes para otras situaciones específicas; y se integra como un concepto nuevo la capacidad de respuesta, que se describe como el conjunto de decisiones que toma el usuario al conducir un vehículo y que se derivan de las condiciones de la carretera.
- Respecto al proyecto geométrico se incluye un nuevo parámetro de diseño, la distancia de visibilidad de decisión, la cual es la distancia mínima requerida para que un conductor, moviéndose a la velocidad de proyecto, pueda maniobrar su vehículo con antelación en presencia de una situación cuya complejidad exige tiempos de percepción-reacción, más largos que los que se suelen exigir; con las actualizaciones de las características físicas de los vehículos de proyecto, se establecieron los anchos de sección transversal para cada tipo de carretera y se calcularon los valores de ampliaciones en las curvas horizontales. Asimismo, con las actualizaciones de las características operativas de los vehículos de proyecto, se definió el efecto de la pendiente longitudinal y las variables de proyecto como la longitud de los carriles auxiliares.

Esta nueva versión del Manual presenta vehículos de proyecto actualizados en donde se clasifica, para cada tipo de carretera, el vehículo de proyecto a utilizar. Tanto sus características físicas como operativas, están relacionadas con el tipo de carretera y con lo dispuesto en el reglamento de pesos y dimensiones de los vehículos del autotransporte federal.

Además, se describe por primera vez como la predisposición a responder de manera predecible y exitosa a situaciones o eventos nuevos o inesperados, haciendo hincapié en que la uniformidad y la consistencia del proyecto geométrico son condiciones necesarias para satisfacer la expectativa del conductor, así como otros aspectos importantes en la carretera, tales como: una señalización horizontal y vertical adecuada, superficie de rodamiento en buen estado, iluminación, entre otros.

Se debe destacar que este Manual considera a los usuarios vulnerables de la siguiente manera:

- Ciclistas: Señala la importancia de no mezclar ciclistas con vehículos motorizados por razones de seguridad. Sin embargo, cuando representen un volumen importante, se les darán las condiciones adecuadas para su circulación segura en carreteras exclusivas en las proximidades conocidas como carriles para ciclistas.
- Peatones: Indica qué se debe considerar desde las etapas de planeación, sobre todo cuando la vía en cuestión atraviesa zonas urbanas. Esto se debe a que el peatón, es menos previsible que el conductor y más reacio a desobedecer el reglamento de tránsito, por eso se tendrá que proporcionar islas de refugio, iluminación, sistemas de control del tránsito, entre otras para ayudar a su desplazamiento en la vía.

El Manual de Proyecto Geométrico 2018, a pesar de contar con varias mejoras, no tuvo un gran recibimiento por parte de proyectistas y especialistas en el tema de vías terrestres, esto debido a la falta de información, imprecisiones, y algunas omisiones con respecto a las Normas Servicios Técnicos, Proyecto Geométrico del año 1984, lo que derivó a seguir utilizando la normativa previa, aprovechando que el manual no cuenta con un carácter que obligue legalmente su uso para el diseño de los caminos; con los avances tecnológicos que son cada vez más apresurados en el área de la movilidad y con la importancia que conlleva un correcto diseño de los caminos, se debe considerar trabajar en una actualización de dicho manual para complementar la información faltante e incluir los nuevos avances tecnológicos en materia de diseño geométrico de vías terrestres.

3.2 Desarrollo del proyecto geométrico

El proyecto geométrico de carreteras es el conjunto de trabajos tales como: los estudios de campo, la selección de la ruta, la determinación de los parámetros de diseño, el análisis y cálculo del alineamiento vertical y horizontal de carreteras, y que tienen como resultado la geometría general de un camino o intersección, así como los volúmenes de material necesarios para realizar la construcción.

En la industria de la ingeniería civil, una de las áreas más importantes es el de las vías terrestres, y particularmente el proyecto geométrico de carreteras; debido a que representa una importante inversión a nivel nacional tanto en el proyecto, la construcción y la conservación. Las obras de infraestructura definen el nivel de desarrollo de cualquier nación, por lo que es relevante contar con proyectos que cumplan con las necesidades y retos del país.

Para la realización del proyecto geométrico es necesario contar con estudios previos que determinen la factibilidad de la carretera. Una vez que se ha determinado que una carretera es técnica y económicamente factible, se hacen los levantamientos de campo, entre los que se encuentran la topografía, los estudios de mecánica de suelos, los estudios hidráulicos e hidrológicos, así como la determinación de bancos de tiro y de préstamo de materiales.

Así mismo, para la ejecución del proyecto geométrico de un camino nos basaremos en ciertas características físicas del individuo como usuario del camino, de los vehículos y del camino mismo. En este tema abordaremos algunos elementos básicos para el proyecto considerando los aspectos relativos más destacables con respecto al usuario como conductor; las características dimensionales y de operación de los vehículos como unidades y el aspecto técnico en el diseño del camino.

El ser humano, bien sea como peatón o como conductor, es el elemento crítico en la determinación de muchas de las características del tránsito y que está sujeto a las siguientes condiciones del medio ambiente que pueden afectar su comportamiento como usuario:

- ❖ La tierra: su uso y actividades
- ❖ El ambiente atmosférico: estado del tiempo y visibilidad
- ❖ Obras viales: Carreteras, ferrocarriles, puentes y terminales.
- ❖ La corriente del tránsito y sus características.

En tanto que estas condiciones ambientales estimulan al usuario desde el exterior, éste se ve afectado también por su propio sistema orgánico, ya sea por el consumo de alcohol, deficiencias físicas y/o problemas emocionales, todos estos factores influyen en el ser humano afectando su conducta. Así mismo, la motivación, inteligencia y aprendizaje del individuo son factores que son profundamente significativos en la operación de los vehículos.

La visión es indudablemente el sentido más importante del usuario, a través de ella se obtiene información de lo que acontece a su alrededor. Se considera de importancia para la tarea de la conducción, la agudeza visual, la visión periférica, la recuperación al deslumbramiento, la percepción de colores y la profundidad de percepción, es decir, el usuario debe ser capaz de identificar objetos al mirar hacia adelante, de detectar el movimiento a sus lados, de ver el camino en la noche con escasez luz y bajo condiciones de deslumbramiento y, por último, de distinguir colores de señales y semáforos así como de las distancias relativas de los diferentes objetos.

Para una visión clara, es necesario efectuar 4 acciones con nuestros ojos:

1. Movimiento a la izquierda
2. Fijar nuestra visión en la izquierda
3. Movimiento a la derecha
4. Fijar nuestra visión en la derecha

Estos movimientos deben ocurrir constantemente, sin embargo, el movimiento del ojo no es instantáneo; el usuario requiere de un tiempo para ver continuamente el cambio de aspecto del camino y de las condiciones de tránsito, por lo que realizar la totalidad de estos movimientos tomará un tiempo aproximado de 1.26 segundos, este valor muestra el tiempo para ver únicamente y no contempla el tiempo de reacción.

El breve intervalo entre ver, oír o sentir y empezar a actuar en respuesta al estímulo de una situación de tránsito o del camino, se conoce como “tiempo de reacción”. Idealmente esta respuesta del conductor requiere de un tiempo para percepción, intelección, emoción y voluntad. Así, mientras más compleja viene a ser una situación, el conductor debe disponer del tiempo suficiente para hacer una evaluación apropiada de todos los factores que intervienen, con el fin de reaccionar con seguridad. El tiempo requerido para esta acción, puede variar desde 0.5 segundos para situaciones simples, hasta 3 o 4 segundos para situaciones más complejas. Se ha encontrado que la respuesta a estímulos visuales, es un poco más lenta que la de los estímulos audibles o a los del tacto.

Los tiempos de reacción del conductor están involucrados en la determinación de distancias de visibilidad de parada, velocidades de seguridad en los accesos a intersecciones y en la programación de semáforos.

Ahora bien, el vehículo es el elemento que tiene como objeto permitir la circulación rápida, económica, segura y cómoda siendo manipulado al control de un conductor. La carretera debe

proyectarse de acuerdo a las características del vehículo que la va a usar y considerando en lo posible, las reacciones y limitaciones del conductor.

En general, los vehículos que transitan por una carretera pueden dividirse en vehículos ligeros, vehículos pesados y vehículos especiales. Los vehículos ligeros (identificados mediante una letra “A”) son vehículos normalmente de uso particular, que tienen dos ejes y cuatro ruedas; se incluyen en esta denominación los automóviles, camionetas y las unidades ligeras de carga y/o pasajeros; los vehículos de transporte de pasajeros (identificados mediante una letra “B”) son vehículos que tienen 3 o más ejes y 6 o más ruedas, en esta denominación se encuentran los autobuses; por último, los vehículos pesados (identificados mediante una letra “C”) son unidades destinadas al transporte de carga, de dos o más ejes y seis o más ruedas; en esta denominación se incluyen los camiones, remolques para el transporte de materiales, tractocamiones articulados y doblemente articulados. Los vehículos especiales son aquellos que eventualmente transitan y cruzan el camino; tales como maquinaria pesada, maquinaria agrícola, bicicletas y motocicletas y en general todos los demás vehículos no clasificados.

En el proyecto de los elementos de una carretera, deben tenerse en cuenta las características geométricas y de operación de los vehículos, ya que estas características definirán las dimensiones así como el radio de giro necesario para los vehículos; así mismo, la relación peso/potencia, la cual en combinación con otras características del vehículo y del conductor, nos determinará la capacidad de aceleración y desaceleración, la estabilidad del vehículo en las curvas y los costos de operación aproximados para cada vehículo, esta relación juega un papel muy importante en los vehículos de carga cuando transitan en vialidades que tengan pendiente ascendente.

A continuación, describiremos algunos de los puntos anteriores más importantes a considerar en el proyecto geométrico desde la perspectiva del elemento automotor:

- a) **El radio de giro:** Definido por la trayectoria de la rueda delantera externa del vehículo, cuando éste efectúa un giro. Las distancias entre ejes y la entrecaja del vehículo, definen la trayectoria que siguen las ruedas, estas trayectorias especialmente la de la rueda delantera externa y la trasera interna, sirven 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.
- b) **Relación peso/potencia:** El peso del vehículo cargado y la potencia de su motor son los factores más importantes que determinan las características y costos de operación de un vehículo en carretera. Este hecho es significativo en los vehículos pesados, normalmente la relación peso/potencia influye directamente en el proyecto del alineamiento vertical y en el análisis de capacidad del camino.
- c) **Estabilidad en curvas:** Un vehículo es estable cuando no tiene tendencia a salirse de la trayectoria que le fija el conductor por medio del volante. La inestabilidad del vehículo procede generalmente de las fuerzas transversales a que está sujeto. La más destacable es debido a la fuerza centrífuga la cual puede manifestarse de dos maneras: por deslizamiento

o por volcamiento. Lo anterior podrá ser resuelto a través de la sobreelevación del camino en las curvas horizontales, el cual disminuye la probabilidad de que ocurra un deslizamiento en curvas.

La carretera será proyectada para un eficiente funcionamiento durante un considerable lapso de tiempo, la vida útil de un proyecto se considera entre los veinte y cincuenta años, por lo que su diseño no deberá proyectarse de acuerdo a las características del vehículo actual, sino que deberán analizarse las tendencias generales de las características vehiculares a través de los años, si bien no es posible predecir las tendencias futuras en el diseño de vehículos, si es posible diseñar una camino con la holgura suficiente para la circulación de vehículos con mayores dimensiones .

Los dos elementos antes mencionados (humano y vehículo) juegan un papel muy importante en la movilidad, es imposible para el proyectista manipular su comportamiento o tendencias; sin embargo, el elemento técnico es donde nos enfocaremos para realizar un diseño adecuado que proporcione a los dos elementos previos de seguridad, teniendo la seguridad un gran peso en este elemento. Actualmente existen dos definiciones que han cobrado gran importancia en el tema de la Seguridad Vial y los cuales van de la mano con el diseño de la vía, siendo estos el término de “*carretera auto-explicativa*” y “*carretera perdonadora*”, ambos términos consideran el error humano y el error operativo del vehículo, la principal diferencia consiste en que el primer término tiene un enfoque pre-siniestro y es una medida activa, esto se refiere a que busca prevenir e identificar las amenazas antes de que causen daño, esto con el fin de evitar que se materialicen; y la segunda es una medida pasiva, la cual consiste en minimizar el impacto de un incidente de seguridad una vez que ha ocurrido el siniestro, por lo cual el camino proyectado ayuda a reducir la severidad del siniestro; ambos términos serán importantes considerar más adelante en este trabajo.

Para realizar el proyecto carretero será necesario cumplir con estas 5 etapas:

- Planeación (Anteproyecto)
- Proyecto
- Construcción
- Operación
- Conservación

3.2.1 Planeación (Anteproyecto)

El propósito de esta etapa, es presentar de una manera breve la problemática que dio origen al proyecto, las alternativas de solución planteadas y el objetivo del estudio.

La planeación o anteproyecto es una propuesta de proyecto donde son trazadas o esbozadas las líneas fundamentales que se pretenden desarrollar posteriormente en el proyecto. Su finalidad es organizar ideas y empezar a delimitar los objetivos. En este sentido, debido a que es una versión previa, no definitiva, es flexible y puede ser modificada en caso de que sea necesario, sin que esto suponga una gran pérdida de tiempo.

Asimismo, se deberá describir la situación que dio origen al proyecto. Un proyecto carretero podría tener como origen las siguientes situaciones:

- Que las carreteras actuales para trasladarse entre un cierto origen y un destino, se encuentran construidas sobre terrenos accidentados, lo que se traduce en velocidades relativamente “bajas” de circulación y por consiguiente en “elevados” Costos Generalizados de Viaje.
- Que el aforo vehicular o TDPA de las carreteras existentes, sea “elevado” y por consiguiente, existan periodos de congestión a lo largo del día, reduciéndose la velocidad y aumentándose los CGV’s por circular en esas vialidades.

Para esta etapa se requiere de una evaluación razonablemente exacta de la geometría de cada una de las posibilidades estudiadas, sin una exactitud minuciosa, ya que serán inútiles todos aquellos cálculos realizados para todas las líneas posibles, excepto para aquella opción que se considere como la mejor.

Para la selección de ruta es necesario de un proceso que involucre varias actividades, desde el acopio de datos, el estudio y análisis de los mismos, hasta los levantamientos aéreos y terrestres necesarios que permitan determinar los costos y las ventajas de las diferentes rutas para elegir la más conveniente. Esta es una de las fases más importantes del proyecto de una carretera.

Uno de los datos más importantes para recopilar y analizar son los:

- **Datos históricos de tránsito y su clasificación detallada:** cuyo análisis permite deducir información relevante como las tendencias de crecimiento del tránsito, entre ellas la Tasa de Crecimiento Anual (TCA), estos datos podrán complementarse con estudios específicos en la zona de influencia del proyecto, los cuales son insumos básicos para el cálculo de asignación del tránsito para el horizonte de proyecto.

Un trazo optimo es aquel que se adapta económicamente a la topografía del terreno, sin embargo, la adaptabilidad al terreno depende a su vez de criterios que están en del tipo y volumen de tránsito previstos durante la vida útil del camino, así como de la velocidad del camino.

Los criterios que definen la adaptabilidad al terreno son definidos a continuación:

- **Velocidad de proyecto:** Es la velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular con seguridad sobre un camino, y se utiliza para determinar los elementos geométricos del mismo como son: los grados de curvatura, las longitudes críticas de las pendientes longitudinales, las distancias de visibilidad ya sean de parada, de rebasamiento o de encuentro; sobreelevaciones en curva, etc. Su selección dependerá del tipo de camino a proyectar y la capacidad vehicular que pretende proporcionar.
- **Vehículo de proyecto:** Es un vehículo representativo cuyas dimensiones y características operativas se usan para dimensionar los elementos de la carretera. De acuerdo a la *NOM-*

012-SCT2-2017 “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” se establecieron cuatro vehículos, con ello es posible determinar las características operativas de los vehículos de proyecto para utilizarlas en el dimensionamiento de los elementos de cada tipo de carretera

- **Proyección futura del Tránsito Diario Promedio Anual:** El volumen de tránsito correspondiente al horizonte de proyecto será un valor que pueda pronosticarse con una aproximación razonable. Para realizar tal pronóstico, resulta útil el concepto de tasa de incremento anual de tránsito (TIAT) que representa la fracción con que se incrementa el volumen de tránsito en cada año por efecto del desarrollo ^[11].

Una vez analizados los datos de tránsito iniciales para el diseño de nuestra vía y habiéndose fijado las especificaciones que regirán el proyecto geométrico, se debe buscar una combinación de alineamientos que se adapten al terreno, planimétricamente y altimétricamente, así como cumplir con los requisitos establecidos en la normativa establecida.

En muchas ocasiones, algunos factores pueden llevar a forzar una línea. Entre ellos pueden citarse los requerimientos del derecho de vía proyectada sobre otras existentes, los cruces con ríos, las intersecciones con otras carreteras o ferrocarriles, las previsiones para lograr un buen drenaje, la naturaleza geológica de los terrenos donde se alojará la carretera. Estos factores y otros semejantes que pudieran establecerse, influyen en la determinación de los alineamientos horizontal y vertical de un camino. Alineamientos que dependen mutuamente entre sí, por lo que deben guardar una relación que permita la construcción con el menor movimiento de tierra posible y con el mejor balance entre los volúmenes que se produzcan de excavación y terraplén.

Cuando los trabajos de planeación han definido en forma general la franja territorial del proyecto carretero, se procede al estudio de alternativas de ruta cuyo resultado final viene a ser la línea de ruta seleccionada.

La etapa de selección de ruta es básica, y en general, la más importante, porque en ella se definen fundamentalmente los beneficios y los costos de construcción, de conservación y de operación para los usuarios de la carretera. Estos son los elementos de partida para los estudios de factibilidad económica y financiera del proyecto.

Para la elección de ruta más conveniente, es necesario evaluar comparativamente, las alternativas con mayores ventajas, tomando en cuenta los siguientes conceptos:

- **Longitud total:** longitud comprendida entre los puntos extremos de la ruta en estudio;
- **Longitud construida (aprovechable):** longitud de carretera construida que puede ser aprovechada, como parte de la ruta;
- **Longitud por construir:** longitud de carretera nueva que debe construirse;

¹¹ *Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras*, 2018, Dirección General de Servicios Técnicos, pág. 17

- **Tiempo de recorrido:** Ya se trate de una carretera nueva o de una modernización, el tiempo de recorrido afecta los costos y los beneficios de los usuarios de la carretera por lo que este concepto debe ser prioritariamente considerado y estudiado;
- **Costo de construcción:** El costo total de la obra incluyendo terracerías, obras de drenaje menor, entronques, muros, estructuras de cruces a desnivel, puentes, túneles, señalamientos y obras complementarias e inducidas.
- **Costo de operación:** Estos costos de operación incluyen la depreciación, los seguros de la infraestructura, impuestos, costos financieros, combustibles, lubricantes, el mantenimiento y llantas.
- **Costo de conservación:** costo estimado, que se requiere para mantener la carretera en un nivel de servicio determinado, durante su vida útil.
- **Costo por accidentes:** influyen más en la comparación de alternativas de ruta cuando una de estas es una vía existente de la que se cuenta con estadísticas de accidentes.

Independientemente del tipo de proyecto carretero que se desee evaluar (construcción de un libramiento, ampliación de un cierto tramo, construcción de un trazo nuevo, etc.), deberá de presentarse un mapa del estado o entidad federativa donde se pretende realizar el proyecto.

De esta manera es posible definir la ubicación, forma, dimensiones, conceptos y cantidades de obra, así como los costos aproximados, a nivel preliminar, de la mejor alternativa para la construcción de una carretera que desde los puntos de vista económico, ambiental, social, político y cultural constituya la mejor solución para la región y el país en su conjunto, mediante el análisis de los aspectos de tránsito, topográficos, geológicos, hidrológicos, de uso del suelo, de los planes regionales y nacionales de desarrollo, de la legislación ambiental regional y nacional, así como de los sitios arqueológicos y demás conceptos culturales que deben preservarse.

Una vez establecida la ruta que mejor satisfaga a los objetivos en términos de movilidad, seguridad, costo de operación del transporte y preservación del medio ambiente y que fueron previamente establecidos durante esta etapa de planeación, se realizarán los estudios a detalle necesarios para determinar las características, dimensiones y ordenamiento de los elementos de la vía.

3.2.2 Proyecto Geométrico

Es una parte del proyecto ejecutivo de carreteras que comprende desde la ejecución de la ingeniería de detalle necesarios para ordenar y dimensionar geoméricamente los elementos de los alineamientos horizontal y vertical, así como de la sección transversal, para que cumplan su función de seguridad, eficiencia y calidad, bajo las condiciones de la demanda vehicular en el horizonte de proyecto resultado de los estudios de planeación. Incluye la elaboración de los planos, especificaciones y documentos en los que se establezcan las características geométricas de cada uno de los elementos de la carretera, necesarios para su construcción.

La SICT dispone de normativa que establece los criterios y procedimientos para la concesión de la infraestructura para el transporte, así como del Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras 2018

por la DGST el cual proporciona los procedimientos y métodos de diseño que se necesitan realizar para elaborar el proyecto ejecutivo de una carretera. En este apartado se retomarán conceptos y definiciones para dar contexto a la situación en la que se encuentra el estudio de caso presentado más adelante.

Es importante conocer los elementos que integran el proyecto geométrico de carreteras, ya que nos permite relacionarlo con la ocurrencia de siniestros viales.

Una *carretera auto-explicativa*, es aquella que muestra una señalización vial con indicaciones claras a los usuarios sobre el tipo de vía por la que circulan y el comportamiento que deben adoptar para garantizar la seguridad vial para todos los usuarios, esto minimiza la probabilidad de ocurrencia de un siniestro. Por otro lado, la *carretera perdonadora* brindará oportunidades para que el conductor pueda evitar un accidente (recupere el control del vehículo), o bien, si el accidente ocurre, que las consecuencias sean mínimas. El accidente igualmente podrá ocurrir, pero las consecuencias serán diferentes si se toman medidas adicionales que presupongan la posible existencia de un error del conductor y le ofrezcan una segunda oportunidad.

A continuación, se desarrollarán algunos de los elementos y atributos deseables en el diseño geométrico de la carretera:

3.2.2.1 Alineamiento Horizontal

El alineamiento horizontal corresponde a la planta del eje de la carretera, es decir, la proyección sobre un plano horizontal del eje de la sub-corona del camino. (*Manual de Proyecto Geométrico, 2018*). Para este alineamiento tenemos dos elementos principales los cuales serán descritos a continuación:

- **Tangente horizontal:** Las tangentes son la proyección sobre un plano horizontal de las rectas que unen las curvas. Al punto de intersección de la prolongación de dos tangentes consecutivas se le representa como PI (Punto de Intersección), y al ángulo de deflexión formado por la prolongación de una tangente y la siguiente se le representa por Δ (Delta). Como las tangentes van unidas entre sí por curvas, la longitud de una tangente es la distancia comprendida entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente. A cualquier punto preciso del alineamiento horizontal localizado en el terreno sobre una tangente, se le denomina: Punto sobre tangente y se le representa por PST (Punto sobre Tangente).
- **Curva horizontal circular:** Son los arcos del círculo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas; las curvas circulares pueden ser simples o compuestas, según se trate de un solo arco de círculo o de dos o más sucesivos, de diferente radio
 - **Curvas circulares simples:** Cuando dos tangentes están unidas entre sí por una sola curva circular, ésta se denomina curva simple. En el sentido del cadenamamiento, las curvas simples pueden ser hacia la izquierda o hacia la derecha. Las curvas

circulares simples tienen como elementos característicos los mostrados a continuación:

- Grado de curvatura: Es el ángulo subtendido por un arco de 20 [m], se representa con la letra G_c :

$$G_c = \frac{1,145.92}{R_c}$$

- Radio de la Curva: Es el radio de la curva circular. Se simboliza como R_c :

$$R_c = \frac{1,145.92}{G_c}$$

- Ángulo central: Es el ángulo subtendido por la curva circular. Se simboliza como Δ_c . En curvas circulares simples es igual a la deflexión de las tangentes.

- Longitud de la Curva: Es la longitud del arco entre el PC y el PT. Se le representa como l_c :

$$l_c = 20 * \frac{\Delta_c}{G_c}$$

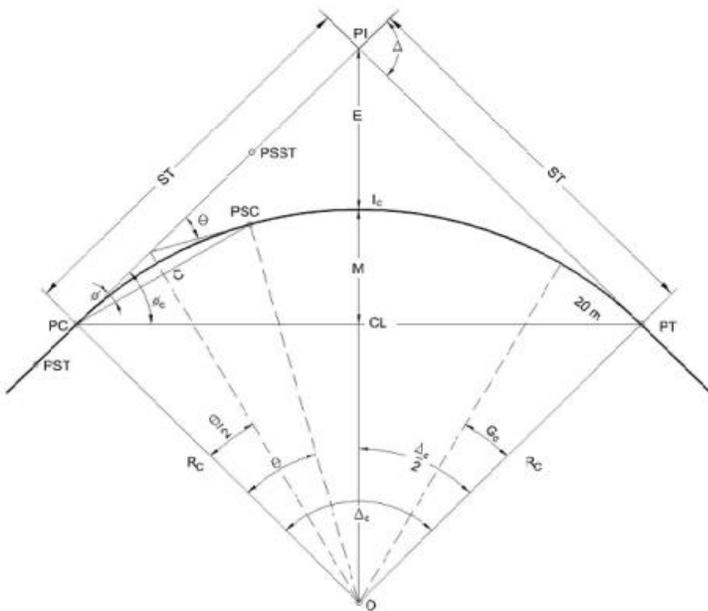
- Subtangente: Es la distancia entre el PI y el PC o PT, medida sobre la prolongación de las tangentes. Se representa como ST. Del triángulo rectángulo PI – O – PT, se tiene:

$$ST = R_c * \tan\left(\frac{\Delta_c}{2}\right)$$

- Curvas circulares compuestas: Son aquellos que están formadas por dos o más curvas circulares simples del mismo sentido y de diferente radio. O de diferente sentido y cualquier radio, pero siempre con un punto de tangencia común entre dos consecutivas. Cuando son del mismo sentido se llaman compuestas directas y cuando son de sentido contrario, compuestas inversas. Los principales elementos de la curva circular compuesta son calculados a través de los elementos de las curvas circulares simples que la integran.

- Curvas de transición: Cuando un vehículo pasa de un tramo en tangente a otro en curva circular, requiere hacerlo en forma gradual, tanto por lo que se refiere al cambio de dirección como a la sobreelevación y a la ampliación necesarias. Para lograr este cambio gradual se usan las curvas de transición. Por lo cual podemos definir a una curva de transición como una curva que liga una tangente con una curva circular, teniendo como característica principal, que en su longitud se efectúa, de manera continua, el cambio en el valor del radio de curvatura, desde infinito para la tangente hasta el que corresponde para la curva circular.

Curva circular Simple



PUNTOS CARACTERÍSTICOS:

- PI Punto Intersección Tangentes
- PC Punto Comienzo curva
- PT Punto Término curva
- PST Punto Sobre Tangente
- PSST Punto Sobre Sub Tangente
- PSC Punto Sobre Curva
- O Centro de la curva

Imagen 11. Elementos de la curva circular simple por la SICT, Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras (MPGC), 2018.

Curva circular con espirales de transición

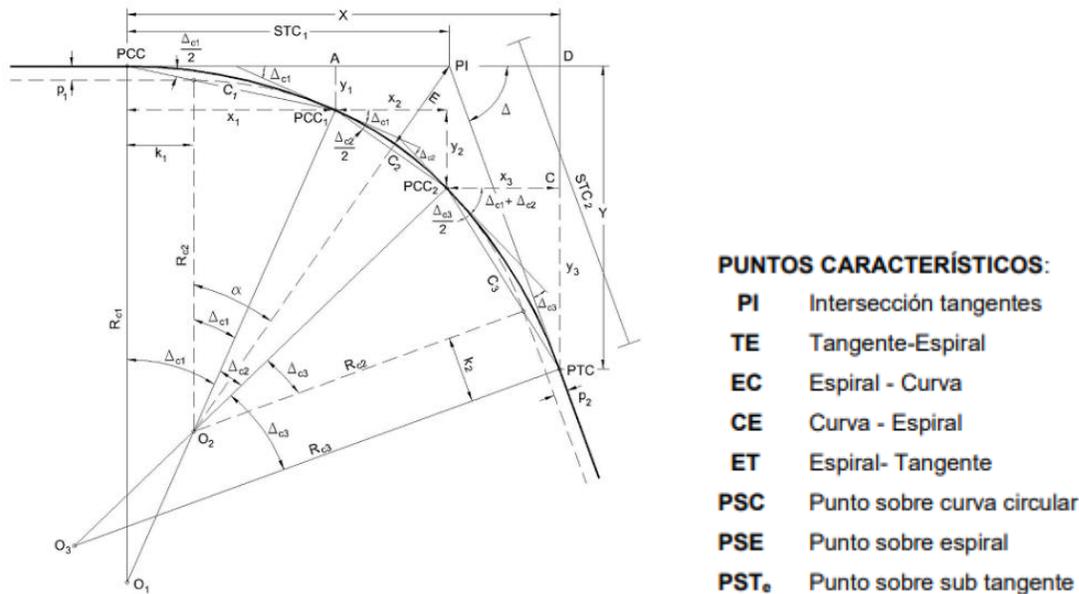


Imagen 12. Elementos de la curva circular con espirales de transición por la SICT, MPGC, 2018.

Existen ciertas normas generales que están reconocidas por la práctica y que son importantes para lograr una circulación cómoda y segura, entre las cuales se indican algunas:

1. La seguridad al tránsito que debe ofrecer el proyecto es la condición que debe tener preferencia.
2. La topografía condiciona especialmente los radios de curvatura y la velocidad de proyecto
3. La distancia de visibilidad debe ser tomada en cuenta en todos los casos, porque con frecuencia la visibilidad requiere radios mayores que la velocidad en sí.
4. El alineamiento debe ser tan direccional como sea posible, sin dejar de ser consistente con la topografía. Una línea que se adapta al terreno natural es preferible a otra con tangentes largas pero con repetidos cortes y terraplenes.
5. Para una velocidad de proyecto dada, debe evitarse dentro de lo razonable, el uso de la curvatura máxima permisible. El proyectista deberá usar curvas suaves, dejando las de curvatura máxima para las condiciones más críticas.
6. Debe procurarse un alineamiento uniforme que no tenga quiebres bruscos en su desarrollo, por lo que deben evitarse curvas forzadas después de tangentes largas o pasar repentinamente de tramos de curvas suaves a otros de curvas forzadas.

7. En terraplenes altos y largos sólo son aceptables alineamientos rectos o de muy suave curvatura, pues es muy difícil para un usuario percibir alguna curva forzada y ajustar su velocidad a las condiciones prevalecientes.
8. Debe evitar trazarse curvas circulares compuestas, porque introducen cambios de curvatura peligrosos; sin embargo, en intersecciones pueden emplearse siempre y cuando la relación entre dos radios consecutivos no sobrepase la cantidad de 2.0 y se resuelva satisfactoriamente la transición de la sobreelevación
9. Debe evitarse el uso de curvas inversas que presenten cambios de dirección rápidos, pues dichos cambios hacen difícil al conductor mantenerse en su carril, resultando peligroso dada la maniobra. Las curvas inversas deben proyectarse con una tangente intermedia, la cual permite que el cambio de dirección sea suave y seguro.
10. Deberá considerarse en las curvas que parcial o totalmente queden alojadas en corte o que tengan obstáculos en su parte interior que limiten la distancia de visibilidad. Si las curvas no cumplen una adecuada distancia de visibilidad deberán tomarse acciones para cumplir con los criterios de seguridad, ya sea recortando o abatiendo el talud del lado interior de la curva, modificando el grado de curvatura o eliminando el obstáculo.
11. Es conveniente limitar el empleo de tangentes muy largas, pues la atención de los conductores se concentra durante largo tiempo en puntos fijos, que motivan somnolencia, especialmente durante la noche, por lo cual es preferible proyectar un alineamiento con curvas amplias.
12. La longitud mínima de tangente entre dos curvas consecutivas está definida por la longitud necesaria para dar la sobreelevación y ampliación de las curvas.

Durante la operación en curvas horizontales en un vehículo al menos deberá analizarse su estabilidad y el ancho mínimo que requiere para dar vuelta.

- La estabilidad del vehículo se refiere a cuando permanece sobre sus llantas y sigue la trayectoria que le fija el conductor; por otro lado, la inestabilidad se debe al efecto de la fuerza centrífuga transversal a que está sujeto al cambiar de dirección, combinada con los efectos de asimetrías en la carga, neumáticos lisos o desinflados y suspensión defectuosa. Sin embargo, podremos determinar las condiciones de estabilidad a partir de un análisis de las fuerzas a las que está sujeto un vehículo. Esta condición de equilibrio puede darse considerando una sobreelevación de la vía en las curvas horizontales, la cual mide la inclinación transversal de la superficie de rodadura hacia el interior de una curva. Con tal inclinación se aprovecha la fuerza de inercia de los vehículos para contrarrestar la fuerza centrífuga, por lo que se reduce la fricción requerida y aumenta la comodidad de los ocupantes del vehículo.
- El ancho de la vía en un tramo con curvas considera que los radios de las trayectorias de las ruedas traseras son menores que los de las ruedas delanteras, lo que implica que el ancho requerido para circular en curva sea mayor que el requerido en tangente, por lo cual se requiere proyectar una ampliación en las curvas, obsérvese Imagen 13 como un ejemplo.

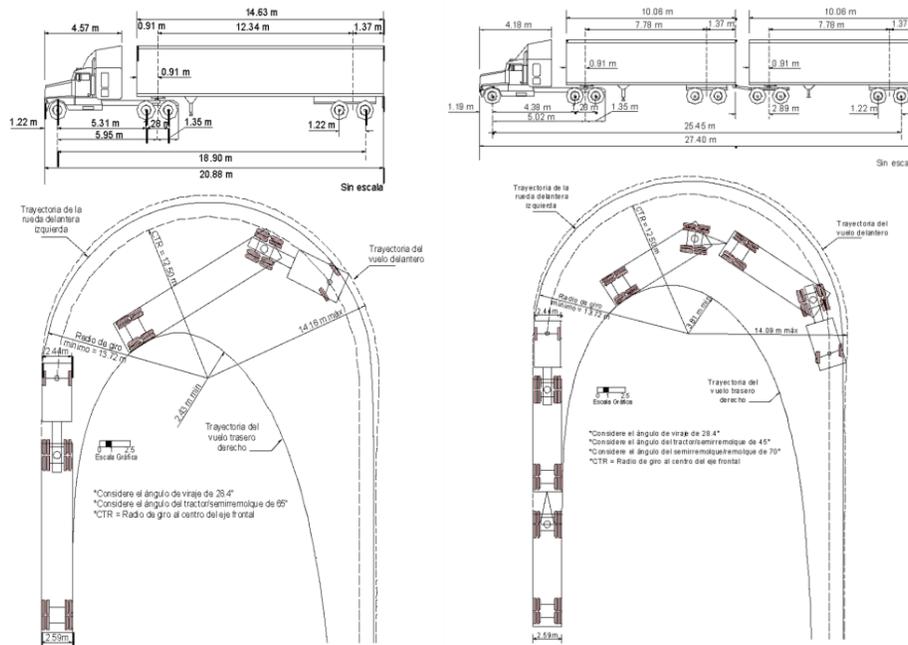


Imagen 13. Dimensiones y trayectoria de giro de algunos vehículos de proyecto por la SICT, MPGC, 2018.

3.2.2.2 Alineamiento Vertical

Corresponde al perfil de la carretera o proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la sub corona o línea sub-rasante. De la misma manera que el horizontal, el alineamiento vertical se compone de tangentes y curvas:

- **Tangente vertical:** Las tangentes se caracterizan por su longitud y su pendiente y están limitadas por dos curvas sucesivas. La longitud de una tangente es la distancia medida horizontalmente entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente. La pendiente de la tangente es la relación entre el desnivel y la distancia entre dos puntos de misma. Es útil definir tres conceptos de pendiente: mínima, máxima y gobernadora.
 - **Pendiente mínima:** Esta pendiente se fija para permitir el drenaje. En los terraplenes puede ser nula; en los cortes se recomienda 0.5% mínimo, para garantizar el buen funcionamiento de las cunetas; en ocasiones la longitud de los cortes y la precipitación pluvial en la zona podrá llevar a aumentar esa pendiente mínima.
 - **Pendiente máxima:** es la mayor pendiente que se permite en el proyecto de la carretera. Queda determinada por el volumen y la composición del tránsito previsto y la configuración del terreno. Está pendiente se empleará, cuando convenga desde el punto de vista económico, para salvar ciertos obstáculos locales tales como cantiles, fallas y zonas inestables, siempre que no se rebase la longitud crítica.
 - **Pendiente gobernadora:** es la pendiente media que teóricamente puede darse a la línea subrasante, esta pendiente es uniforme y a través de ella se pueden unir dos

puntos obligados de la carretera. Un punto obligado es aquel seleccionado por el proyectista, para fines de control, por el que necesariamente tienen que pasar los alineamientos. La mejor pendiente gobernadora para cada caso, será aquella que permita el menor costo de construcción, conservación y operación.

- *Longitud Crítica:* Es la longitud máxima en la que un camión cargado puede ascender sin reducir su velocidad. Los elementos que intervienen para la determinación de la longitud crítica de una tangente son fundamentalmente el vehículo de proyecto, la configuración del terreno, el volumen y la composición del tránsito. La configuración del terreno impone condiciones al proyecto que, desde el punto de vista económico, obligan a la utilización de pendientes que reducen la velocidad de los vehículos pesados.
- **Curva vertical:** Enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, para que en su longitud se efectúe el paso gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la de la tangente de salida. Deben dar por resultado un camino de operación segura y confortable, apariencia agradable y con características de drenaje adecuadas. El punto común de una tangente y una curva vertical en el inicio de ésta, se representa como PCV y como PTV, el punto común de la tangente y la curva al final de ésta. Las curvas verticales pueden tener concavidad hacia arriba o hacia abajo, recibiendo el nombre de curvas en columpio o en cresta respectivamente.

Su longitud dependerá de cuatro criterios, que son:

- Criterio de comodidad: Se aplica al proyecto de curvas verticales en columpio, en donde la fuerza centrífuga que aparece en el vehículo al cambiar de dirección, se suma el peso propio del vehículo.
- Criterio de apariencia: Se aplica al proyecto de curvas verticales en columpio, esto para evitar al usuario la impresión de un cambio súbito de pendiente.
- Criterio de drenaje: Se aplica a curvas en cresta o en columpio, cuando están alojadas en corte. La pendiente en cualquier punto de la curva, debe ser tal que el agua pueda escurrir fácilmente.
- Criterio de seguridad: Aplicable a curvas en cresta o en columpio. La longitud de la curva debe ser tal, que en toda la distancia de visibilidad sea mayor o igual que la de parada.

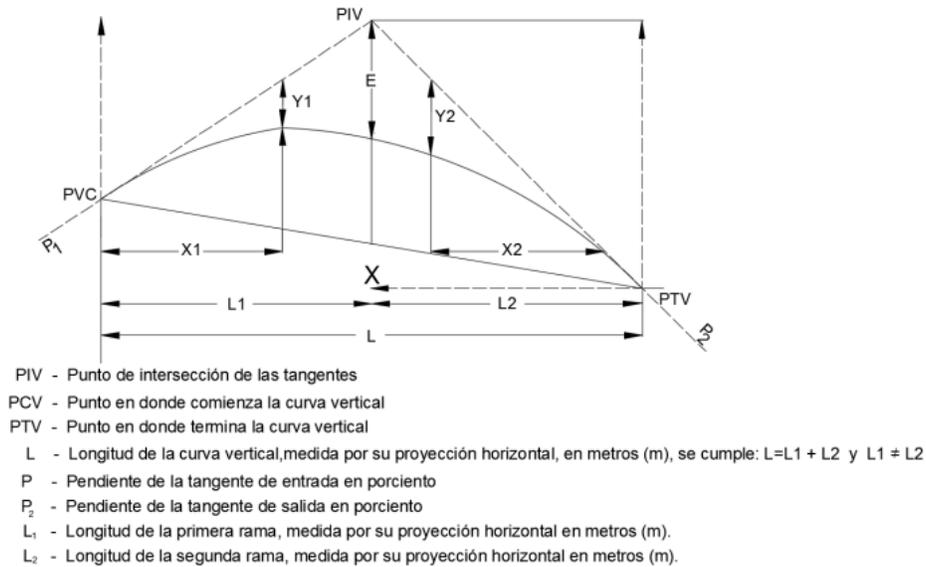


Imagen 14. Elementos de la curva circular vertical en cresta por la SICT, MPGC, 2018.

Para proyecto, el criterio a seguir debe ser el de seguridad, que satisfaga cuando menos la distancia de visibilidad de parada. El criterio de apariencia solo debe emplearse en caminos de tipo muy especial. Por otra parte, el drenaje siempre debe resolverse, sea con la longitud de curva o modificando las características hidráulicas de las cunetas

En el perfil longitudinal de una carretera, la subrasante es la línea de referencia que define el alineamiento vertical. La posición de la subrasante depende principalmente de la topografía de la zona atravesada, pero existen otros factores que deben considerarse también

1. La condición topográfica del terreno influye en diversas formas al definir la subrasante. Así, en terrenos planos, la altura de la subrasante sobre el terreno es regulada, generalmente, por el drenaje. En terrenos ondulados se adoptan subrasantes onduladas, las cuales convienen tanto en razón de la operación de los vehículos como por la economía del costo. En terrenos montañosos, la subrasante es controlada estrechamente por las restricciones y condiciones de la topografía.
2. Una subrasante suave con cambios graduales es consistente con el tipo de camino y el carácter del terreno; a esta clase de proyecto debe dársele preferencia, en lugar de uno con numerosos quiebres y pendientes en longitudes cortas. Los valores de diseño son la pendiente máxima y la longitud crítica, pero la manera en que estos se aplican y adaptan al terreno formando una línea continua, determina la adaptabilidad y la apariencia del producto terminado.
3. Un perfil escalonado es preferible a una sola pendiente sostenida, por que permite aprovechar el aumento de velocidad previo al ascenso y el correspondiente impulso, pero,

solo puede adaptarse tal sistema para vencer desniveles pequeños o cuando no hay limitaciones en el desarrollo horizontal.

4. Cuando la magnitud del desnivel a vencer o la limitación del desarrollo motiva largas pendientes uniformes, de acuerdo a las características previsibles del tránsito, puede convenir adoptar un carril adicional en la sección transversal.
5. Cuando se trata de salvar desniveles apreciables, bien con pendientes escalonadas o largas pendientes uniformes, deberá procurarse disponer las pendientes más fuertes al comenzar el ascenso/descenso.

Se deben considerar valores máximos de pendientes y longitudes críticas las cuales sus valores no deben ser rebasados, si estos valores fueran rebasados existirán problemas en los sistemas de frenado de los vehículos de manera recurrente lo que ocasionara accidentes mortales.

La operación del vehículo en las tangentes verticales está asociada con la aceleración y deceleración del vehículo, que se realiza para aumentar o reducir la velocidad por seguridad, comodidad o conveniencia. La aceleración se logra con el motor del vehículo o utilizando la gravedad cuando la pendiente es descendente. La deceleración se logra con la resistencia del motor o con el mecanismo de freno, cuya eficiencia puede reducirse drásticamente cuando se calienta en exceso, como suele suceder con los vehículos pesados que operan en tangentes verticales descendentes largas y con pendientes fuertes.

En tangentes descendentes los conductores, especialmente de los camiones pesados, usan las resistencias internas del motor para decelerar, lo que se conoce como “*freno con motor*”. En tangentes largas con pendientes fuertes, no basta el motor para frenar, sino que debe recurrirse al uso continuo del sistema de frenos, el cual pierde su eficacia si existe un sobrecalentamiento en los elementos que conforman el sistema de frenado, llegando a alcanzar una temperatura crítica donde el desvanecimiento de la potencia de frenado es inminente, el MPGC 2018 en su página 41 muestra una gráfica en la cual se observa la distancia aproximada en la que llega a esta temperatura crítica, esto en función de la pendiente descendente la cual es de importancia prioritaria considerar (Obsérvese Imagen 15).

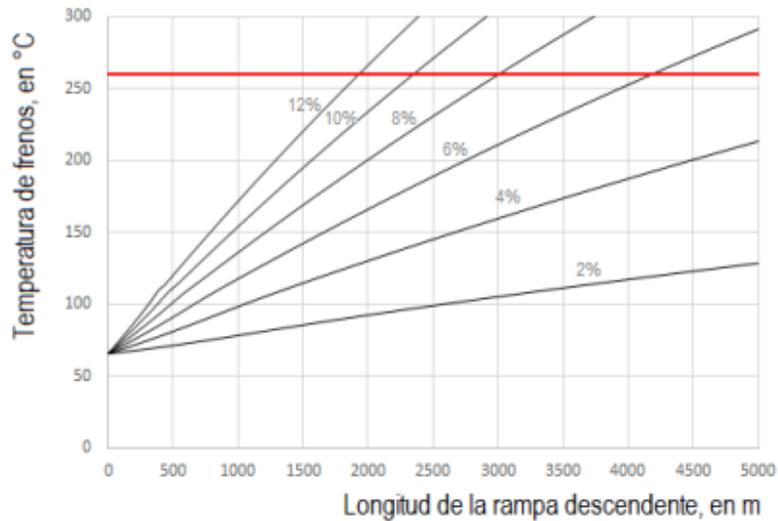


Imagen 15. Variación de la temperatura en función de la longitud del tramo y la pendiente descendente, por la SICT, MPGC, 2018.

Recordemos que los alineamientos horizontal y vertical no deben ser considerados independientes en el proyecto, puesto que se complementan el uno al otro. Si uno de los dos alineamientos presenta partes pobremente proyectadas, éstas influyen negativamente tanto en el resto de ese alineamiento como en el otro. Por lo anterior, deben estudiarse exhaustivamente ambos alineamientos.

Es difícil estandarizar la correcta combinación de los alineamientos horizontal y vertical sin referirnos al aspecto de la localización del camino, ya que ambos temas están relacionados entre sí.

Si suponemos que la localización general ha sido realizada y que el problema restante es lograr un proyecto armónico entre los alineamientos horizontal y vertical, y una vez obtenido este, el camino resulta una vía económica, agradable y segura, se tendrá que la velocidad de proyecto adquirirá una mayor importancia, puesto que en el cálculo es el parámetro que logra el equilibrio buscado (Tiempo, costo, comodidad y seguridad).

Se considera que la coordinación entre los alineamientos horizontal y vertical debe iniciarse en la etapa de anteproyecto, donde puede realizarse los ajustes correspondientes, mediante estudios exhaustivos. En esta etapa, el proyectista no debe preocuparse por la precisión en sus cálculos; salvo con algunas excepciones, el estudio debe ser en mayor parte a base de un análisis gráfico teniendo en mente el criterio y especificaciones fijadas sobre todo en lo referente a la velocidad de proyecto, curvatura y pendiente máxima, considerando además que la velocidad de proyecto puede variar en algunos tramos dependiendo del relieve y del uso de suelo por donde se trazará el anteproyecto, así mismo deberá considerarse la clasificación vehicular y volumen del tránsito esperado.

En México, cuya meta en términos de seguridad vial es disminuir en un 50% las muertes por siniestros viales, fueron desarrollados criterios para que desde la etapa de planeación, donde es realizado el anteproyecto, se considerará la seguridad vial como una prioridad, y uno de estos criterios fue la **construcción de vías autoexplicativas**, donde el principal objetivo, aumentar la "legibilidad" inconfundible de las características de la carretera es promocionando un diseño de carretera fácil de usar y auto explicativo; en otras palabras, esto significa que la carretera y sus alrededores deben diseñarse para mayor claridad a los conductores y que las secciones deben diseñarse de manera que sean fáciles de comprender, perceptibles y reconocibles para los usuarios, evitando cambios bruscos de dirección o cambio de pendientes continuas.

Identificar y eliminar los elementos que confundan al conductor o lo inviten a tomar riesgos.

Una adecuada proyección del trazo puede salvar muchas vidas.

3.2.2.3 Atributos deseables

Así como se desea una correcta proyección horizontal y vertical que provea de seguridad para salvaguardar la vida de los usuarios, siendo este atributo con mucho mayor peso al momento de diseñar actualmente, también es deseado que otros aspectos sean considerados en el diseño. La creciente demanda de mercancías que deben ser transportadas vía terrestre, así como el crecimiento exponencial de industrias y centros demográficos, han generado diversos problemas no solo en el tema territorial, sino ambiental y económico, por lo que un camino además de ser seguro, debe ser sustentable con el medio ambiente y así mismo rentable para generar ingresos.

El MPGC del año 2018 establece como atributos deseables para el proyecto la seguridad, el impacto ambiental, economía, rapidez, comodidad, consistencia, durabilidad, apariencia, accesibilidad, conectividad y desempeño de la función. Algunos de estos atributos están contenidos o se traslapan unos con otros, al satisfacerse cuando se atienden los tres primeros, por ello se han identificado como deseables a la seguridad, al impacto ambiental y a la economía.

El tema de la seguridad vial desde el enfoque técnico donde el diseño debe brindar seguridad al transitar en las vías en función del vehículo y usuarios que son elementos que pueden ser controlados desde la etapa de planeación.

El impacto ambiental causado por la infraestructura carretera será el segundo atributo en tomar importancia ya que actualmente se requiere un diseño de infraestructura resiliente, es decir, que tenga la capacidad de funcionar y satisfacer las necesidades de los usuarios durante y después de un peligro natural; los diversos cambios meteorológicos que ponen en peligro la vida y movilidad de las persona. Para evitar el continuo daño ambiental que causa la infraestructura a los ecosistemas, la infraestructura debe adaptarse al entorno ambiental en el que se encuentra y funcionar sin ejercer cambios en su dinámica natural, por lo que sus elementos deberán ser integrados a los ya existentes de la zona.

Por otro lado, el atributo económico suele ser variable a lo largo del tiempo y cambiará de acuerdo a las condiciones económicas del lugar donde se proyectará la obra, por lo que este atributo será valorado únicamente a través de una proyección financiera que nos brinde una perspectiva a futuro. Este atributo no estará por encima de los dos anteriores.

3.2.2.3.1 Impacto Ambiental

Es la alteración del medio ambiente es consecuencia de la construcción y operación de la carretera, y puede ser de magnitud tal, que a veces es preferible no construir la carretera, sin embargo, casi siempre se pueden evitar, mitigar o aún revertir los efectos adversos; por lo cual es necesario hacer una evaluación del impacto ambiental.

La evaluación del impacto ambiental es el proceso de predicción y valoración de los efectos biofísicos, sociales o de otra índole que son ocasionados por la materialización de un proyecto, la identificación de medidas de mitigación sus efectos y costos; así como la determinación de los compromisos necesarios para su realización. Comprende dos aspectos: el estudio de impacto ambiental propiamente dicho, que consiste en la predicción de consecuencias y establecimiento de las correspondientes medidas de mitigación y la manifestación de impacto ambiental que, con base en el estudio anterior, establece los compromisos de mitigación y protección al medio ambiente, los que deben precisarse mediante un proyecto de mitigación de impacto ambiental (DOF-1988, DOF-2004).

La metodología comprende básicamente tres etapas: análisis, valoración y mitigación.

1. En la etapa de análisis se estudia el proyecto en relación con el medio, para identificar la situación actual, realizar un inventario y determinar las consecuencias posibles al materializar el proyecto.
2. En la etapa de valoración se determina el alcance de las consecuencias y se comparan alternativas.
3. En la etapa de mitigación se establecen, mediante el proyecto de mitigación de impacto ambiental, las acciones que contribuyan a paliar las consecuencias adversas y se determinan los efectos residuales, o sea aquéllos que persistirán a pesar de las medidas.

Los impactos ambientales que se generan al construir la infraestructura vial resultan innegables, por lo que es necesario planificar nuevas estrategias que favorezcan la continuidad de los corredores biológicos y su conectividad, así como los beneficios que se obtienen de los ecosistemas. Uno de los principales impactos que ocasiona la infraestructura carretera es la fragmentación de los ecosistemas, proceso por el cual el ecosistema se subdivide en porciones más pequeñas y con formas más complejas, y que conlleva cambios en su composición, funcionamiento

y estructura, provocando el aislamiento de los organismos y la pérdida de biodiversidad. Además, la fragmentación disminuye la retención de nutrientes y altera la dinámica trófica ^[12]

Desde el punto de vista jurídico, los ecosistemas deben ser vistos no como un objeto a regular, sino como uno de los valores que sustentan a la vida natural y a la especie humana, por lo que se debe evitar su pérdida y deterioro a través de mecanismos de control y regulación de las conductas y actividades que colaboran en su pérdida y destrucción. Lo anterior, sin duda, es un esfuerzo que debe hacerse de manera colectiva en favor del desarrollo y bienestar de nuestra sociedad y del ambiente.

Uno de los grandes desafíos para México es conservar la extensión de sus bosques, selvas, humedales, zonas áridas y semiáridas y, más aún, tratar de recuperar las superficies que se han perdido o degradado a causa de factores como el cambio de uso del suelo a favor de actividades de diversa índole, como es la agricultura, la ganadería, la construcción de infraestructura carretera y la expansión de las áreas urbanas, entre otras. Lo anterior, con la finalidad de mantener la conectividad ecológica entre estas extensiones para favorecer el flujo genético entre las especies.

La implementación de infraestructura verde, como un componente más del diseño de los proyectos ejecutivos de la infraestructura vial, resulta una propuesta ambiental y multifuncional para contrarrestar los impactos adversos de las mismas. Se deberá promover la construcción de Infraestructura Verde Vial; es decir, obras de infraestructura vial sustentables que impulsen no sólo el desarrollo del país en términos económicos y sociales, sino que también promuevan la conservación de los ecosistemas, su biodiversidad y los servicios ecosistémicos que proveen.

Los planes, programas y/o proyectos de la Infraestructura Verde Vial consideran de manera integral elementos ambientales, sociales, económicos y tecnológicos para prevenir, mitigar y corregir (desde una perspectiva de la infraestructura verde) los impactos potenciales ecosistémicos negativos que la infraestructura vial pueda generar.

La implementación de Infraestructura Verde Vial puede proporcionar los siguientes beneficios:

- I. Reducir la huella de carbono del sector transporte y mitigar la emisión de gases de efecto invernadero (GEI).
- II. Revertir la fragmentación de los ecosistemas e impulsar la protección de la biodiversidad.
- III. Impulsar la conservación y generación de los servicios ecosistémicos.
- IV. Cumplir con los objetivos de mitigación y adaptación al Cambio Climático y dotar de mayor resiliencia a la infraestructura vial.
- V. Mejorar la integración del uso del suelo “transporte-ecosistema”.

^[12] Fischer y Lindenmayer, *Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis*. 2007

3.2.2.3.2 Economía

Se refiere a las consecuencias monetarias que resultan de la construcción de la carretera. Para fines de análisis, suele caracterizarse en términos de costos que, de acuerdo con los atributos deseables son de cuatro tipos: el costo de inversión, constituido por los costos de los estudios, proyectos, construcción y conservación, el costo de seguridad, constituido por los costos de los accidentes, el costo de operación, constituido por los recursos erogados por los usuarios para realizar el transporte y el costo ambiental constituido por los recursos que causan las emisiones o se invierten para mitigar los efectos de la construcción de la carretera. El costo total está constituido por la suma de estos cuatro costos, y su magnitud depende tanto de las características de la demanda de tránsito que circulará por la carretera y de la calidad del proyecto.

$$\text{Costo Total} = C.I + C.S + C.O + C.A; \quad \text{donde:}$$

C.I = Costo de Inversión (Costos de los estudios, proyectos, construcción y conservación)

C.S = Costo de Seguridad (Costos de los accidentes)

C.O = Costo de Operación (Costos erogados por los usuarios)

C.A = Costo Ambiental (Costos de los recursos que se invierten para mitigar el daño ambiental)

- El costo de inversión consta del costo de diseñar, materializar y conservar el proyecto de la carretera, incluyendo túneles y viaductos, así como el costo del equipamiento, señalización y obras complementarias.
 - El costo de construcción suele expresarse en pesos/km y varía entre centenas de miles de pesos para las vías secundarias, hasta decenas de millones de pesos para las autopistas. Dentro de cada categoría de carreteras, el monto varía con el uso del suelo y orografía del terreno por el que se desarrolla, así como con la calidad del proyecto, que suele caracterizarse con la velocidad de proyecto
 - El costo de conservación es el costo que se produce a lo largo de la vida de la carretera para mantener las condiciones iniciales. Uno de los principales componentes de este costo está constituido por los pavimentos, pero las obras de drenaje, puentes, viaductos, túneles, señalamiento y adecuación de las fajas laterales también requieren recursos.
- El costo de operación está constituido por los recursos monetarios que erogan los usuarios de la carretera al circular por ella. Dependen de la magnitud del flujo de tránsito y de su composición, así como de las características de la carretera, principalmente de su geometría y estado superficial.
- El costo de seguridad está constituido por el valor de las consecuencias de los accidentes que ocurren durante la vida de la carretera. Para cada año de operación de la carretera, se determina multiplicando el número de accidentes por el valor monetario de sus consecuencias.
- El costo ambiental se determina por las inversiones para mitigar los daños por la construcción de la carretera y por sus consecuencias inevitables. Las primeras, como la reforestación, la contaminación visual o la comunicación entre ambos lados de la carretera

Los beneficios y los costos se combinan en un índice para fines de evaluación. Los principales son la relación beneficio costo (RBC), el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR), que se describen brevemente

Relación beneficio-costo (RBC): es el cociente que resulta de dividir los beneficios actualizados entre los costos actualizados durante el plazo de análisis. Este índice es muy popular porque es muy intuitivo, pues cuando los beneficios son mayores que los costos, el índice es mayor que uno y por lo tanto la carretera será tanto más rentable en la medida que se aleje de uno en sentido ascendente.

Valor presente neto (VPN): es la diferencia que resulta de restar de los beneficios actualizados durante el plazo de análisis los correspondientes costos actualizados, así que una carretera será tanto más rentable en la medida que se aleje de cero en el sentido ascendente. La ventaja relativa de este índice es que, al estar expresado en unidades monetarias, puede compararse con otras cifras macroeconómicas.

La tasa interna de retorno (TIR): es la tasa de actualización, t , que iguala los costos actualizados con los beneficios actualizados. Una carretera será más rentable en la medida que se aleje de la tasa de interés del capital.

Los costos y los beneficios son de naturaleza dinámica, puesto que se originan en diferentes momentos a lo largo de la vida de la carretera.

Por lo que los costos o beneficios en un año serán variables con respecto a otro y su valor en el año actual (año cero) dependen del plazo de análisis, de la tasa de interés del capital, y de la tasa de actualización, que por lo general está algunos puntos por arriba de la tasa de interés, ya que representa el sacrificio del bienestar actual en aras de tener un bienestar futuro. El plazo de análisis se fija de manera que puedan estimarse con cierta certeza los costos y los beneficios asociados con el tipo de carretera.

3.2.5 La Seguridad desde el diseño

En el marco del proyecto geométrico, la seguridad se refiere a que los elementos de la carretera tengan características tales que minimicen la probabilidad de ocurrencia de accidentes de tránsito. Suele decirse que una carretera es segura cuando el número de accidentes es relativamente bajo. Una de las maneras para realizar el análisis de la seguridad es a través de las relaciones entre los elementos que inciden en ella: Usuario, vehículo y carretera. los factores resultantes de la interacción entre tales elementos y el ámbito de las principales acciones que contribuyen a mejorar la seguridad

La evaluación de la seguridad que se da a través de las estadísticas de accidentes se le llama de tipo activo porque se basa en ocurrencias observadas en la realidad. El otro tipo de análisis, llamado pasivo, se basa en inferir posibles accidentes a partir de las condiciones que pudieran generar el accidente o con los modelos predictivos.

La seguridad vial se incrementa significativamente al aumentar el estándar de proyecto geométrico, es por ello que las autopistas son cuando menos cuatro veces más seguras que una carretera común. Sin embargo, cabe mencionar que apearse a los estándares de las normas que aplican en cada país no asegura un diseño seguro debido a que éstos han sido desarrollados gradualmente a medida que el creciente tránsito de vehículos ha hecho precisa la planificación de mejores vías. El conocimiento de los efectos del diseño de las vialidades sobre la seguridad es, como se podría esperar, incompleto, sin embargo, se conocen algunos efectos sobre la seguridad vial de diversas características particulares.

Se entiende por estándar de proyecto, el nivel de calidad geométrico al cual se construye una carretera. Su selección se efectúa durante la etapa de planeación. Entre mayor es el estándar geométrico, mejor es la seguridad vial. El mayor estándar geométrico para una carretera corresponde a las autopistas.

Los estándares de trazado geométrico incluyen diversos elementos que pueden ser combinados entre sí para formar un indicador general de la calidad del alineamiento o trazado de la vía. Las vialidades con un buen trazado tienen aproximadamente 25% menos siniestros viales que las que tienen un trazado deficiente.

En términos generales, el mayor estándar geométrico para una carretera corresponde a una velocidad de proyecto elevada, un control total de acceso a propiedades aledañas, zonas laterales benignas, rampas de entrada y salida en intersecciones a desnivel y sentidos opuestos de tránsito separados por una barrera central. Se recomienda diseñar para la velocidad más alta razonable, por ejemplo, la del percentil 85, para cubrir con los niveles deseados de seguridad, movilidad y eficiencia, considerando también la estabilidad de los vehículos en las curvas, de ahí que para un vehículo y curva dados la variable fundamental sea la velocidad. Por ejemplo, entre menor sea el radio de una curva más difícil será maniobrar el vehículo, si no se diseña correctamente los conductores tienden a invadir uno o varios carriles para poder girar.

A medida que el tráfico vehicular aumenta, resulta necesario o económico diseñar y construir carreteras con estándares geométricos más elevados. En general, a medida en que el estándar geométrico sea mayor, la carretera será más segura. De hecho, uno de los factores económicos que deben tomarse en cuenta al seleccionar el nivel geométrico de calidad, son los beneficios en seguridad vial derivados de mejores estándares geométricos.

La decisión para circular por una carretera o por alguna alterna (cuando la hay) resulta de la valoración del conductor en términos del tiempo, conveniencia y dinero, además de la percepción de la seguridad que se tenga de las opciones. Por ende, la velocidad es uno de los factores más importantes para el conductor al momento de seleccionar rutas o modos de transporte.

La velocidad de proyecto debe cumplir con las expectativas de casi todos los usuarios considerando que sólo un pequeño porcentaje de los usuarios circula a velocidades extremadamente altas, no resulta económicamente factible diseñar únicamente para ellos, así como tampoco conviene

hacerlo para los conductores en las condiciones de circulación más desfavorables, que también son un pequeño porcentaje, pues se obtendría un camino inseguro, de ahí que frecuentemente se recomiende diseñar para la velocidad más alta razonable, por ejemplo con el *percentil 85* de las velocidades esperadas, que cubra los niveles deseados de seguridad, de movilidad y de eficiencia considerando las restricciones ambientales, económicas, estéticas y los impactos sociales y políticos. Asimismo, la velocidad de proyecto debe ser coherente con respecto a la topografía, el uso del suelo adyacente y el tipo de camino.

Un aspecto muy importante en torno a la velocidad y a la seguridad en carreteras es la estabilidad de los vehículos en las curvas. Se dice que un vehículo es inestable cuando experimenta tendencias muy acentuadas a salirse de la trayectoria impuesta por el conductor, generalmente como resultado de las fuerzas transversales que actúan en él, ya sea por carga mal distribuida, llantas desinfladas, suspensión defectuosa, etc, o por la fuerza centrífuga que experimenta cuando transita por una curva, pudiendo suscitarse que el vehículo se deslice o vuelque.

Por tanto, para un vehículo y una curva dados, la variable fundamental es la velocidad y si ésta se incrementa, la fuerza centrífuga también lo hará, pudiendo resultar eventualmente en la pérdida de control del vehículo; por ejemplo, si la velocidad se duplica, con los demás elementos constantes la fuerza centrífuga resultante se cuadruplicará; si la velocidad se triplica, la fuerza centrífuga resultará nueve veces mayor

Actualmente en la Red Carretera Federal existen muchas curvas que fueron diseñadas para las condiciones prevalecientes de la época de su construcción, condiciones que actualmente son superadas y por lo cual se registran un importante número de siniestros viales por año.

Otros aspectos que inciden en la ocurrencia de siniestros viales son:

- El escaso cumplimiento de los límites máximos permitidos; y la
- Diferencia de velocidad entre automóviles y vehículos pesados.

Conviene hacer referencia a que ha sido una práctica frecuente entender por modernización de un camino, su incremento de capacidad mediante la adición de carriles e incluso cuerpos adicionales, sin actualizar sus condiciones geométricas para las velocidades reales de circulación (deseo de movilidad). Esto también ha sido, frecuentemente, fuente de problemas de accidentalidad.

Las recomendaciones a seguir para que un proyecto geométrico cuente con altos estándares de calidad, y por ende proporcione seguridad vial a los usuarios, son las siguientes:

- Evitar una geometría irregular en un sólo trayecto, con curvas horizontales aisladas que restrinjan repentinamente la velocidad de operación.
- Construir terceros carriles de ascenso para permitir el rebase de vehículos pesados.
- Diseño adecuado o emplazamiento de intersecciones a desnivel.
- Evitar la presencia de curvas verticales sucesivas con largas restricciones de rebase.

- Proporcionar rampas de emergencia para detener vehículos fuera de control, en carreteras con pendientes fuertes y prolongadas.
- Correspondencia entre la geometría del camino y la estructura de pavimento y superficie de rodamiento proporcionadas.
- Proporcionar una “zona despejada”, definida como el área adyacente a los caminos, la cual debe mantenerse libre de peligros laterales como: postes, árboles y arbustos con troncos mayores a 0.1 m, muros de obras de drenaje, taludes pronunciados (mayores a 4:1) y otros objetos fijos, o condiciones que representen un peligro. El ancho de esta zona debe ser consistente con el diseño geométrico, velocidad de operación, composición vehicular y nivel de tránsito.

La mejora de la sección transversal y la alineación de las carreteras pueden reducir la cantidad de siniestros viales; sin embargo, los efectos son complejos y dependen, entre otras cosas, del estándar de la carretera, la consistencia de las propiedades geométricas y los efectos sobre la velocidad. Por lo tanto, es difícil establecer relaciones simples entre propiedades geométricas aisladas de carreteras y su siniestralidad. Las combinaciones de las propiedades geométricas son en su mayoría más importantes para evitar los siniestros viales.

Con respecto al alineamiento vertical, las curvas verticales en cresta pueden llegar a tener problemas con la distancia de visibilidad. Además, la frecuencia y la severidad de los siniestros viales aumentan con la pendiente, principalmente para en el sentido descendente, pues resulta problemático para los camiones de carga.

Así mismo, se deberá equipar con dispositivos tales como las barreras y los amortiguadores de impacto que resultan efectivos en el control de lesiones, reduciendo el número de siniestros con lesiones, pero no siempre el número de siniestros con daños a la propiedad. Para una serie de medidas, el efecto varía sustancialmente, dependiendo del diseño y las condiciones del sitio.

Se deberá prestar especial atención al tema de la seguridad vial tanto en el diseño de carreteras nuevas como en la reconstrucción de carreteras existentes, considerándolo como un criterio principal de proyecto.

Actualmente la evaluación de la seguridad en las carreteras es llevada a cabo a través del Programa Internacional de Evaluación de Carreteras (iRAP por sus siglas en inglés, “International Road Assessment Programme” el cual forma parte de una organización sin fines de lucro dedicada la promoción del mejoramiento de las carreteras a través de programas económicos que reduzcan un gran número de las muertes y lesiones graves.

La metodología de iRAP corresponde a un sistema de gestión a nivel de red, en el cual ésta se ausculta en toda su extensión y sólo superficialmente para aproximar la mejora requerida en cada tramo con el fin de determinar el programa de inversiones que permita llevar a toda la red a un estándar mejorado de calidad en un determinado horizonte de tiempo.

La metodología para inspeccionar carreteras, detectar, priorizar riesgos y formular planes de reducción de los mismos, se desarrolla en tres etapas:

1. **Recopilación de información.** Se obtiene información digital del estado actual de las carreteras utilizando un vehículo especial avalado por iRAP. A su vez, se obtiene información sobre accidentalidad, flujos de tránsito, entre otras.
2. **Análisis de información.** Los datos recolectados se procesan en una sola base de datos con un software aprobado por iRAP.
3. **Reporte final.** Constituye un inventario del estado actual de las carreteras en materia de seguridad vial, así como recomendaciones de tramos prioritarios para intervención de acuerdo con el nivel de riesgo y una propuesta de medidas de mejoramiento o acciones para mitigarlo.

A través de las etapas previamente mencionadas, se logran los siguientes productos:

- **Calificación por estrellas.** El sistema otorga de 1 a 5 estrellas dependiendo del nivel de seguridad que posea una vía, al mismo tiempo que identifica cada nivel con un color en específico. A su vez, se prevé una escala diferente para cada tipo de usuario (ocupante de vehículo, motociclista, ciclista o peatón), es decir, una vía puede tener cinco estrellas para el ocupante de un vehículo, pero una estrella para un peatón.
- **Plan de Inversión para Vías Más Seguras (PIVMS).** Recomendación de medidas preventivas de ingeniería considerando las condiciones actuales de la vía y la estimación del número de muertes y lesiones graves (MLGs) que ocurren en las mismas. A su vez, se evalúa el beneficio de implementarlas en función de las MLGs prevenidas, así como los ahorros económicos alcanzados en un periodo estándar de 20 años.

La “Calificación por Estrellas” reflejan el riesgo en lo que respecta a un usuario de la carretera individual (Obsérvese Imagen 16). Las carreteras de 1 estrella tienen el riesgo más alto y las carreteras de 5 estrellas el riesgo más bajo. Esta calificación se utiliza para realizar una inspección de seguridad vial, evaluaciones de impacto de seguridad vial, y en diseños. Las calificaciones con estrellas son una medida objetiva del nivel de seguridad que está 'integrado' en la carretera a través de más de 50 atributos de la carretera que influyen en el riesgo para los ocupantes del vehículo, motociclistas, ciclistas y peatones.

Asimismo, esta clasificación ofrece una medición de riesgo en la infraestructura carretera, mientras que los “Planes de Inversión” identifican las medidas a implementar y mejoran dicha calificación bajo una relación beneficio-costos (RBC), alcanzando el mayor número de muertes y lesionados prevenidos al menor costo posible.

Es importante destacar que las calificaciones con estrellas se pueden completar en todo el mundo, en áreas urbanas y rurales y sin referencia a datos detallados de accidentes, que a menudo no están disponibles en países de ingresos bajos y medianos, o son escasos en países de ingresos altos de alto rendimiento que luchan por la visión.

Star Rating				
★	No sidewalk, No safe crossing, 60 km/h traffic	No cyclepath, No safe crossings, poor road surface, 70 km/h traffic	No motorcycle lane, undivided road, trees close to road, winding alignment, 90 km/h traffic	Undivided road with narrow centerline, trees close to road, winding alignment, 100 km/h traffic
★★★	Sidewalk present, pedestrian refuge, street lighting, 50 km/h traffic	On-road cycle lane, good road surface, street lighting, 60 km/h traffic	On-road motorcycle lane, undivided road, good road surface, >5m to any roadside hazards, 90 km/h traffic	Wide centerline separating oncoming vehicles, >5m to any roadside hazards, 100 km/h traffic
★★★★★	Sidewalk present, signalized crossing with refuge, street lighting, 40 km/h	Off-road dedicated cycle facility, raised platform crossing of major roads, street lighting	Dedicated separated motorcycle lane, central hatching, no roadside hazards, straight alignment, 80 km/h traffic	Safety barrier separating oncoming vehicles and protecting roadside hazards, straight alignment, 100 km/h traffic

* For details on the full model for all road users and more urban and rural examples see <https://www.irap.org//3-star-or-better/what-is-star-rating>.

Imagen 16. Clasificación por estrellas por International Road Assessment Programme (iRAP), 2020

Los planes de inversión pueden respaldar la toma de decisiones de inversión en carreteras existentes y dentro de los diseños de carreteras. Los planificadores, diseñadores e ingenieros pueden utilizar esta información junto con su experiencia y conocimiento local para desarrollar planes y diseños de implementación detallados y medir el impacto final en las calificaciones por estrellas.

Además, estos planes pueden mejorarse a través de inspecciones visuales y la consideración de los datos de accidentalidad y de operación específicos, particularmente en relación con los segmentos de mayor siniestralidad.

En México, esta metodología es utilizada para el análisis de la Seguridad Vial en las carreteras; el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) en 2012, se realizó el proyecto denominado iRAP-México Fase I el cual contempló la inspección de 45,000 km de la RCF y cuyos resultados se encuentran la Imagen 17, donde se destaca que la mayoría de la longitud inspeccionada obtuvo entre 1 y 2 estrellas lo cual indica una situación de alto riesgo en la infraestructura vial, no obstante que existe una proporción significativa con 3 estrellas, la cual iRAP establece como el estándar mínimo a lograr; escenarios similares se visualizan en los motociclistas, ciclistas y peatones.

Estrellas	Ocupantes de vehículo		Motocicletas		Ciclistas		Peatones	
	Longitud (km)	%	Longitud (km)	%	Longitud (km)	%	Longitud (km)	%
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

Imagen 17. Resultados del proyecto iRAP-México 2012 por Instituto Mexicano del Transporte, Centeno y Urzúa (2014)

El IMT concluyó que: “En la actualidad, existen pocos estudios que relacionen las variables aquí presentadas, y siendo el proyecto iRAP-México el más grande realizado por iRAP en términos de kilómetros inspeccionados, como resultado del estudio se espera avanzar en el conocimiento de la relación infraestructura-accidentalidad, así como en la aplicación y mejoras en la precisión de nuevas metodologías que evalúen la seguridad vial con el fin de darle el seguimiento requerido.”.

Actualmente, la SICT lleva a cabo programas que utilizan como base la información obtenida de la base de datos iRAP para identificar las carreteras con la menor calificación por estrellas y de esta manera, realizar un programa anual para llevar a cabo Auditorías de Seguridad Vial en las carreteras que tengan como máximo 3 estrellas en su calificación, de esta manera se comienza paso a paso el mejoramiento de la Seguridad Vial en las carreteras que se encuentran en operación a través de las recomendaciones generadas para mejorar las condiciones de seguridad vial desde el punto de vista de las y los usuarios y se estiman los niveles de inversión requeridos.

Para llevar a cabo estas auditorías, es necesario seguir el procedimiento que es descrito en el Manual de Auditorías de Seguridad Vial publicado por la DGST, este es el primer documento que la SICT elabora para abordar la seguridad vial en los proyectos de modernización de vías existentes, construcción de carreteras e intersecciones nuevas y replanteamiento o modificaciones al proyecto original durante las obras de construcción.

Cabe destacar que, una *Auditoría de Seguridad Vial* busca lograr, desde sus primeras etapas, un proyecto carretero que privilegie la seguridad de los usuarios: conductores, pasajeros, peatones, ciclistas y motociclistas. Debe lograr que el proyecto sea indulgente con el usuario para que, ante la ocurrencia de un accidente, no se ocasione la pérdida de vidas humanas ni personas con lesiones de gravedad.

Estas acciones contribuyen a avanzar en el cumplimiento de las metas establecidas en el Decenio de Seguridad Vial 2021-2030.

Capítulo IV: LAS RAMPAS DE EMERGENCIA PARA FRENADO

Una rampa de emergencia se considera como un tramo de salida del arroyo vial pero que está conectada a la misma calzada, sirve para disipar la energía cinética del vehículo fuera de control y sacarlo fuera del tránsito de los demás vehículos; esto es logrado a través del uso de materiales granulares sueltos y dependiendo de su geometría puede llegar a utilizar la acción gravitacional, logrando de esta manera desacelerar el vehículo de manera controlada y segura. Las rampas de frenado están compuestas de tres elementos importantes: el acceso, la cama de frenado y el camino de servicio.

Estos dispositivos surgen como una necesidad de seguridad vial ante la ocurrencia de siniestros viales en carreteras con pendientes descendentes continuas y prolongadas, a causa de fallas en el sistema de frenado de vehículos motores. Este tipo de siniestros afecta principalmente a los vehículos de carga debido a su peso, de hecho, en algunos países a este tipo de dispositivos se les conoce como “rampas de escape para camiones”.

Para entender este fenómeno, cuando un vehículo circula a través de un camino con pendiente descendente, es decir, transita de un punto con determinada altura o elevación a otro con una cota de elevación más baja, por efecto de la fuerza de gravedad el vehículo se acelera de manera “natural”.

Dicho en otras palabras, se produce un cambio de energía potencial a energía cinética, misma que se traduce en aumento de la velocidad. Para transitar con seguridad por cualquier sección de un camino, la velocidad a la que se circula debe situarse dentro de ciertos límites, denominados como “velocidad máxima restringida”, y que se encuentran establecidos por reglamentos o por señales en el camino; para controlar su velocidad o simplemente para detenerse, los vehículos disponen de mecanismos que evitan su aceleración de manera descontrolada, tal es el caso de los distintos tipos de sistemas de frenado. De manera general, estos sistemas de frenado se componen por “frenos de servicio” y “frenos auxiliares”, los cuales a su vez pueden ser de diversos tipos.

Al accionar el sistema de frenado de un vehículo motorizado en movimiento, la energía cinética que contiene se transforma principalmente en calor; los aspectos más importantes para el correcto funcionamiento del sistema de frenos de cualquier vehículo es su capacidad para generar el rozamiento necesario para reducir la velocidad y permitir la disipación del calor producido. Como se mencionaba anteriormente, los vehículos están equipados generalmente con dos tipos de frenos: de servicio y auxiliares. En caminos con pendientes en descenso prolongadas y/o muy inclinadas, los frenos de servicio son susceptibles al fenómeno conocido como “desvanecimiento del frenado”. Los frenos de servicio son los que se accionan al ejercer presión sobre el pedal correspondiente y

constituyen el principal sistema para regular la velocidad de los vehículos. En este tipo de frenos se transmite una fuerza a las ruedas y, mediante fricción, se transforma la energía cinética que lleva el vehículo en calor, misma que deberá ser disipada al medio ambiente. Los frenos de servicio pueden ser de dos tipos: de discos y de tambor.

Los frenos de tambor dominan, por mucho, el mercado de transporte de carga mexicano, cerca del 90 % de los camiones tienen frenos de tambor instalados en su flota, el funcionamiento de estos se logra mediante zapatas que presionan los tambores para reducir la velocidad de la rueda cuando se acciona el pedal. Estos frenos son los más susceptibles al “desvanecimiento” o pérdida de efectividad debido a sus limitaciones para disipar el calor que genera su funcionamiento. Por otro lado, los frenos auxiliares también conocidos como retardadores, éstos proporcionan un mecanismo independiente de los frenos de servicio para el control de la velocidad del vehículo. Los más comunes son: de compresión del motor, de escape, de transmisión hidráulica y de transmisión eléctrica. Entre éstos, los más usuales por mucho son los frenos de compresión del motor, muy utilizados en los vehículos con motores que funcionan con Diesel.

Un vehículo con pérdida de potencia en el sistema de frenado, propiciado por el desvanecimiento, resulta un peligro para todos los usuarios en la vía, poniendo en riesgo la vida de aquellas personas que se encuentren en la dirección del vehículo, así como la del mismo conductor; este último en ocasiones realiza maniobras que evitan poner en riesgo la vida y el patrimonio de los demás y en algunas otras prefiere realizar maniobras utilizando este patrimonio como un sistema de frenado de emergencia. De esta problemática surge la necesidad de crear un dispositivo que funcione como un freno de emergencia donde su uso no provoque daños más allá de los materiales.

De acuerdo con el *Programa Nacional Cooperativo de Investigación de Carreteras* (National Cooperative Highway Research Program [NCHRP]), el primer dispositivo para servir a este propósito se instaló en 1956 en California, Estados Unidos; los primeros dos tipos de rampas desarrolladas fueron las llamadas rampas de gravedad y rampas de montículo.

Las primeras rampas de gravedad tenían un problema particular, el cual consistía en que el vehículo, una vez detenido, podía acelerarse nuevamente, pero esta vez de reversa, lo cual no eliminaba el problema y podía provocar distintos escenarios como colisiones con vehículos circulando de manera normal sobre la carretera, salidas del camino o volcamientos. De igual manera, las primeras rampas de montículo presentaban una falla operativa y altos costos económicos en su mantenimiento, operativamente su falla consistía en que el frenado era muy brusco, pudiendo producir daños severos en el vehículo, la carga y, por su puesto, en los ocupantes; asimismo, este tipo de rampas requerían que el material que las componía (arena) fuese constantemente “aflojado” para que no se consolidase y constituyese un riesgo más que una opción de seguridad, llegando a ser cada 7 días, dependiendo de las condiciones climáticas del entorno lo cual representaban altos costos en su mantenimiento.

Por ello, a lo largo de los años se han mejorado estos dispositivos para su correcto funcionamiento y proporcionar seguridad a los usuarios; estas innovaciones al diseño fueron plasmadas en el documento “Una política sobre diseño geométrico de carreteras y calles” (*A policy on Geometric Design Of Highways and Streets*) publicada por la Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transportes Oficiales (*American Association of State Highway and Transportation Officials*, [AASHTO]), la cual es una guía para un buen diseño de las vialidades en los EE.UU.AA como había sido mencionado anteriormente.

México adoptando los avances que se han realizado en otras regiones, ha integrado en dos documentos de importancia legal, los criterios para un diseño seguro de las rampas de frenado de emergencia en el país, adecuándolas a las necesidades de nuestra región y lograr de esta manera la uniformidad de las características de las rampas construidas en el territorio nacional.

A lo largo de este capítulo, se desarrollarán las características generales de las rampas de frenado de emergencia, sus criterios de construcción, los tipos de rampas vigentes en México y la normativa que regula la calidad de sus materiales, construcción y diseño.

4.1 Normativa aplicable en materia de diseño de rampas de emergencia.

La normativa se define como: “Norma o conjunto de normas por las que se regula o se rige determinada materia o actividad.”, asimismo esta se establece de manera social, y pueden ser de carácter voluntario o pueden ser obligatorias. También se ajustan a la naturaleza de las instituciones y sistemas que operan en la sociedad. Al igual que una ley, esta posee eficacia o ineficacia/ validez o invalidez, diferenciando que la ley tiene mayor poder y está un escalafón más arriba.

México se ha desarrollado en el tema de Seguridad Vial a través de la adaptación de prácticas internacionales que han mejorado la seguridad vial en otras regiones, el diseño de rampas de emergencia no es una excepción. Los avances se han sustentado desde la *Política sobre Diseño Geométrico de Carreteras y Calles* publicada por la AASHTO en el año 2004, a través de este documento se desglosa la física y los principios básicos por los que una rampa de emergencia para frenado resulta útil para la detención de vehículos que han perdido la efectividad en sus sistemas de frenado, de la misma manera detalla con gran claridad cada uno de los tipos de rampas así como sus consideraciones para un diseño seguro de la rampa de acuerdo al material utilizado en la cama de frenado y el tipo de rampa a construir, asimismo desglosa cada una de las ecuaciones necesarias para el cálculo de las longitudes cama de frenado de acuerdo a su pendiente o pendientes longitudinales, siendo este el elemento más importante del que se compone la rampa. Sin embargo, también hay un documento el cual antecede al publicado por la AASHTO el cual se titula como “*Grade Severity Rating System*” (*GSRS*) publicado por la Federal Highway Administration (FHWA) en agosto de 1989 en el que se establecen por primera vez los criterios para determinar la necesidad de una rampa de emergencia para frenado basándose en la siniestralidad de vehículos de carga con fallas en el sistema de frenado, siendo este el antecedente en función de los casos reales que se presentaban en las carreteras federales de los EE.UU.AA., de manera que la normativa será

un compilado de aquellos temas que están relacionados a un tema en común y que es necesaria su regulación para garantizar un buen funcionamiento, el mejoramiento y la uniformidad.

Por lo anterior, será imposible mantener sin cambios la normativa en el transcurso del tiempo, ya que a través de los diversos descubrimientos y las nuevas tecnologías que se desarrollan día con día, se encontrará en un constante cambio, y su modificación será impulsada para establecer las mejores prácticas que garanticen la seguridad de todos los usuarios, por lo que la normativa que a continuación será presentada experimentará cambios en el transcurso de los años y posiblemente las prácticas, diseños, criterios, y elementos, sean considerados como obsoletos y hayan surgido mejoras en todos esos aspectos, de manera que será útil como referencia a futuro y realizar las comparaciones del desarrollo de normativas futuras.

4.1.1 Normativa para la Infraestructura del Transporte (NIT N-PRY-CAR-10-04-007)

La normativa para la Infraestructura del Transporte (Normativa SCT), es el conjunto de criterios, métodos y procedimientos para la correcta ejecución de los trabajos que realiza la Secretaría de Comunicaciones y Transportes para la infraestructura del transporte y tiene los siguientes objetivos:

- ❖ La uniformidad de estilo y calidad en las obras públicas y en los servicios relacionados con ellas, que realiza la Secretaría para la infraestructura del transporte, estableciendo los criterios y procedimientos para la planeación, licitación, adjudicación, contratación, ejecución, supervisión y, en su caso, operación y mitigación de impacto ambiental.
- ❖ Establecer los criterios y procedimientos para la concesión de la infraestructura para el transporte
- ❖ Normar las relaciones de la Secretaría con las personas físicas y/o morales que contraten la ejecución de obras públicas y los servicios relacionados con ellas, o a las que se les otorguen concesiones de infraestructura para el transporte.
- ❖ Orientar la selección y aplicación de los criterios, métodos y procedimientos más convenientes para la realización de los estudios y proyectos; para la ejecución, supervisión, aseguramiento de calidad, operación y mitigación del impacto ambiental de la infraestructura durante su construcción, conservación, reconstrucción y modernización.

La normativa SCT está presentada según su propósito, en tres tipos de publicaciones denominadas Normas, Manuales y Prácticas recomendables mediante las siguientes claves:

- ❖ Normas ----- N
- ❖ Manuales ----- M
- ❖ Prácticas recomendables ----- R

Las normas, Manuales y Prácticas recomendables a que se refiere la cláusula anterior, se organizan según su temática, en doce Libros identificados mediante las siguientes claves:

- ❖ Introducción..... INT
- ❖ Legislación..... LEG

- ❖ Planeación..... PLN
- ❖ Derecho de Vía y zonas aledañas..... DRV
- ❖ Proyecto..... PRY
- ❖ Construcción..... CTR
- ❖ Conservación..... CSV
- ❖ Operación..... OPR
- ❖ Control y Aseguramiento de calidad..... CAL
- ❖ Características de los materiales..... CMT
- ❖ Características de los equipos y sistemas de instalación permanentes..... EIP
- ❖ Métodos de muestreo y prueba de materiales..... MMP

Estos libros se dividen en cinco temas que se identifican mediante claves que se indican a continuación:

- ❖ Carreteras..... CAR
- ❖ Aeropuertos..... AER
- ❖ Ferrocarriles..... FER
- ❖ Puertos..... PUE
- ❖ Edificaciones diversas..... EDV

Los Capítulos son la subdivisión independiente más pequeña, por lo que se presentan, publican y difunden individualmente, mediante fascículos coleccionables en carpetas especiales, facilitando de esta manera, su revisión permanente, su actualización y, en su caso, su reemplazo. De la misma forma se tratan aquellos Títulos cuyo contenido no esté dividido en Capítulos o aquellas Partes que no estén divididos en Títulos.

El texto contenido en cada fascículo se divide en Cláusulas, Fracciones, Incisos, Párrafos y Puntos, según su estructura, con el propósito de facilitar su referencia en los proyectos y trabajos donde se establezcan como especificaciones.

Para la identificación de cada fascículo publicado, en la primera página se indica, además del Libro, Tema, Parte, Título y Capítulo que trata, una designación única; esta designación se integra con las claves del tipo de publicación, del Libro y, en su caso, del Tema al que pertenece el fascículo, así como con el número correspondiente a la Parte y en su caso, al Título y al Capítulo que se trata. Cuando un fascículo corresponde a un Título completo, en la designación se omite el número del Capítulo. De igual forma, cuando el fascículo corresponde a una parte completa, en la designación también se omite el número del Título.

Los criterios, métodos y procedimientos contenidos en la Normativa SCT son una guía para efectuar la planeación, licitación, adjudicación, contratación, ejecución, supervisión y, en su caso, operación y mitigación del impacto ambiental de las obras públicas y servicios relacionados con ellas, así como para la concesión de la infraestructura, de manera que, si el ingeniero considera que dichos criterios, métodos y procedimientos no son aplicables para la realización de un trabajo

específico, puede proponer otros que no estén debidamente sustentados, no contravengan las leyes federales aplicables y sean aprobados por las autoridades competentes.

Para el caso de Rampas para Frenado de Emergencia, fue publicada la normativa para la infraestructura del transporte N-PRY-CAR-10-04-007 la cual contiene los criterios generales para el diseño de las rampas para frenado de emergencia (RE), esta normativa actualmente tiene 3 versiones publicadas a través del portal del Instituto Mexicano del Transporte , siendo la primera publicada en el año 2007, la segunda fue una actualización en el año 2013 y la tercera es la versión publicada en el año 2021 que aún se mantiene vigente.

La Normativa para la Infraestructura del Transporte ha sido el principal pilar para la formulación de Normas Oficiales Mexicanas (NOMs) en materia de Seguridad Vial. Las NIT's no se encuentran por encima de ninguna NOM, sin embargo, los proyectos realizados para la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes deben cumplir con esta normativa obligatoriamente, ya que en caso de no cumplirla, la SICT podrá sancionar de manera económica a la empresa en caso de incumplimiento de acuerdo al contrato.

4.1.2 Normas Oficiales Mexicanas (NOM-036-SCT2-2009 y NOM-036-SCT2-2016)

En México se emiten las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) las cuales son regulaciones técnicas que rigen a la industria y sirven como herramientas que permiten a las distintas dependencias gubernamentales, atender y eliminar los riesgos para la población, los animales, así como para proteger el medio ambiente, además están basadas en información científica y tecnológica, lo que promueve la calidad de bienes y servicios.

Las diversas NOMs son elaboradas por Órganos Colegiados (Comités Consultivos Nacionales de Normalización) que están integrados por representantes de todos los sectores interesados en cada uno de los temas. La conjunción de las ideas y argumentos presentados por todos los sectores o actores participantes, hacen que las NOMs tengan un desarrollo integral.

Las NOMs tienen valor a nivel internacional porque son el producto del trabajo interdisciplinario de los diferentes sectores involucrados, ya que están construidas por especialistas en los diferentes temas que abarcan y establecen los requisitos, especificaciones y las características y/o métodos de prueba, por lo que son aplicables a productos, procesos, sistemas, actividades, servicios o métodos de producción

El propósito fundamental de las NOM es brindar garantía para que los bienes y servicios cumplan con las pautas mínimas de información, calidad y seguridad.

Las NOMs establecen:

- Requisitos,
- Especificaciones,
- Características y/o métodos de prueba.

En este sentido, las NOMs son aplicables a productos, procesos, sistemas, actividades, servicios o métodos de producción y determinan cómo deben realizarse los productos, procesos y servicios que se utilizan cotidianamente.

Los principales beneficios de las NOMs son:

- Fomentan el desarrollo económico y la calidad en la producción de bienes y servicios al hacer obligatorio el cumplimiento de requisitos, especificaciones, características y métodos de prueba.
- Impulsan el comercio internacional ya que, al armonizar los requisitos nacionales con los internacionales, se facilitan las importaciones y exportaciones.
- Generan un equilibrio entre los competidores y elimina las prácticas desleales, al establecer igualdad de condiciones para productos, procesos y servicios.

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOMs) no deben ser confundidas con las Normas Mexicanas (NMX) ya que ambas normas tienen grandes diferencias, las NMX son definidas en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización como: *“Las que elabora un organismo nacional de normalización, o la Secretaría, en los términos la Ley, que prevén para un uso común y repetido reglas, especificaciones, atributos, métodos de prueba, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado”*

El cumplimiento de las NOMs es obligatorio para quienes caen dentro del alcance de aplicación de las mismas; las NMX, por otro lado, son de aplicación voluntaria. Solo adquieren el carácter de obligatorias en caso de que una NOM haga referencia a una NMX.

En materia de dispositivos de seguridad como lo son las rampas para frenado, se ha publicado la NOM-036-SCT2 *Rampas de emergencia para frenado en carreteras*, la cual establece los requisitos generales que se han de considerar para el diseño y construcción de las rampas de emergencia para frenado, también conocidas como rampas de escape o de emergencia, con el propósito de proteger a los vehículos que, por fallas mecánicas, principalmente en sus sistemas de frenos, pudieran quedar fuera de control en tramos de carreteras con fuertes pendientes descendentes y prolongadas.

En esta norma se contempla la definición y utilización de los elementos que conforman dichas rampas y del señalamiento horizontal y vertical que requieren, elementos que constituyen un sistema que tiene por objeto disipar la energía cinética de los vehículos mencionados, desacelerándolos en forma controlada y segura, mediante el uso de materiales granulares sueltos y aprovechando, en su caso, la acción de la gravedad. Se incluyen también los lineamientos y las especificaciones que han de considerarse para el diseño y construcción de esas rampas, así como las características que deben tener los materiales que se utilicen para su construcción. Asimismo, las características principales de las disposiciones que contiene, están dirigidas a establecer los

requisitos generales que están directamente relacionados con la seguridad de los usuarios y con la protección de las vidas humanas y los bienes del público en general, y que obligatoriamente han de considerarse para diseñar, construir y conservar las rampas de emergencia para frenado en todas las carreteras del territorio nacional. Esta Norma es de observancia obligatoria en todas las carreteras que tengan tramos con pendientes descendentes continuas y prolongadas

Actualmente se han emitido dos versiones de esta norma, siendo la primera publicada en el Diario Oficial de la Federación el 16 de junio de 2009 y la cual fue actualizada el 3 de octubre de 2016, manteniendo sustancialmente su contenido y realizando modificaciones a los aspectos técnicos de equipamiento y señalamiento, que más adelante se enunciarán sus diferencias a través de un cuadro comparativo.

4.2 Características generales de las Rampas de emergencia para frenado

De la normativa anteriormente mencionada, ambas describen y regulan las características que debe cumplir una rampa de emergencia para frenado para que su funcionamiento sea adecuado y tenga una mayor seguridad para el usuario en caso de su ingreso a estos dispositivos; sin embargo, aunque estas dos normativas parecen ser una copia textual, en realidad ambas se complementan de distinta manera, ya que la NIT N-PRY-CAR-10-04-007 establece los criterios técnicos que deben seguirse para el diseño de la rampa para frenado, pero al carecer de una obligatoriedad legal ante instancias federales, fue complementada a través de la NOM-036-SCT2 *Rampas de emergencia para frenado en carreteras* que toma como base lo establecido en la NIT antes mencionada, dando un carácter legal a todas aquellas consideraciones técnicas que fueron retomadas para la creación de la NOM, de esta manera se obliga de manera legal a toda aquella persona responsable del diseño, construcción y conservación de una rampa de emergencia, a seguir los procedimientos y consideraciones que hayan sido publicadas en dicha NOM; por ello ambas normativas serán similares en su contenido y no se contraponen una con la otra.

Por lo anterior, no detallaremos las particularidades entre ambas normativas y solo se hará un desglose general de lo sustancial respecto a las rampas de emergencia para frenado y que, además, se encuentra en ambos documentos.

Las Rampas de Emergencia para Frenado, también conocidas como rampas de escape o de emergencia, son franjas auxiliares de la carretera con una superficie de retención para disipar la energía cinética de los vehículos que queden fuera de control por fallas mecánicas, principalmente en sus sistemas de frenos, desacelerándolos en forma controlada y segura, mediante el uso de materiales granulares sueltos y aprovechando, en su caso, la acción de la gravedad.

Los elementos generales que componen a una rampa de emergencia para frenado son:

- **Acceso:** Es la parte pavimentada de la rampa de emergencia para frenado que conecta el arroyo vial de la carretera con la cama de frenado. Su objetivo es encausar al vehículo antes de ingresar a la cama de frenado. Esté será perfectamente distinguible, despejado y estará

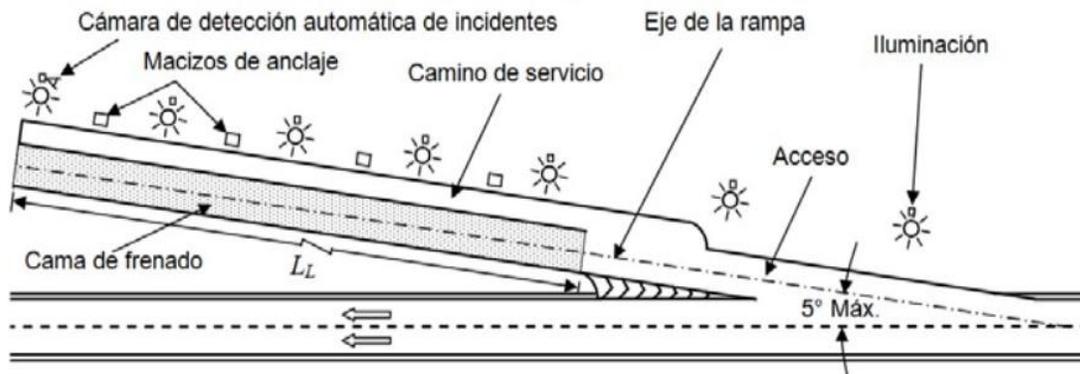
encaminado a proporcionar la mayor facilidad de operación a los vehículos que hacen uso de él.

- **Cama de Frenado:** Parte de la rampa de emergencia para frenado que propiamente detiene el vehículo con el material granular suelto que se coloca en su superficie.
- **Camino de servicio:** Franja pavimentada adyacente a la cama de frenado, acondicionada para retirar los vehículos que entren a la rampa de emergencia para frenado y dar mantenimiento a la cama de frenado. Para permitir el rescate de los vehículos, este camino se verá equipado con los denominados *Macizos de Anclaje*, mediante los cuales se permita el apoyo adecuado de las grúas de rescate u otros equipos de servicio.

Asimismo, para el correcto funcionamiento de la rampa durante las lluvias, es necesario del diseño de un sistema de drenaje y subdrenaje, este sistema se diseñará con el propósito de captar el agua de lluvia, los escurrimientos superficiales y, principalmente, el agua que se infiltre en la cama de frenado, para desalojarla oportunamente, a fin de evitar la acumulación de partículas en suspensión que llenen los huecos del material de la cama y su posible densificación o compactación, así como el eventual congelamiento del agua, que anule la eficacia de la cama. Obsérvese la Figura 9 y 10 como un ejemplo de los elementos de los que se compone una rampa de emergencia para frenado, así como la disposición en corte de estos elementos, como es posible apreciar en la Figura 10, la cama de frenado se encuentra almacenada en un cajón delimitado por indicadores de alineamiento, este cajón posee una profundidad variable a lo largo de la cama de frenado.

Figura 9.

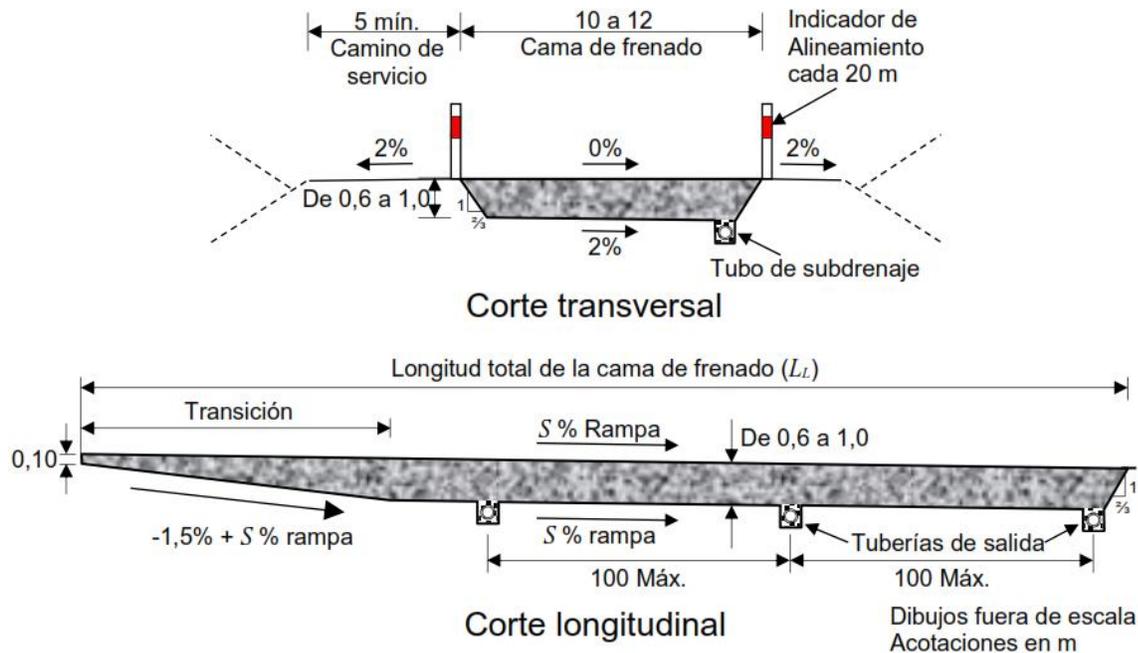
Elementos que componen una rampa de emergencia para frenado, NOM-036-SCT2-2016.



Nota. Figura obtenida de la NOM-036-SCT2-2016, Rampas de emergencia para frenado en carreteras.

Figura 10.

Disposición en corte de la cama de frenado de rampas de emergencia para frenado, NOM-036-SCT2-2016.



Nota. Figura obtenida de la NOM-036-SCT2-2016, Rampas de emergencia para frenado en carreteras.

A pesar de contar con las rampas de emergencia para frenado, es necesario guiar al usuario adecuadamente a este dispositivo, para ello se realiza el diseño de un sistema de señalamiento que permita a los usuarios realizar las maniobras necesarias para su llegada a la rampa de emergencia, además, este sistema cumple con la función de advertir a los demás usuarios de los posibles vehículos que se encuentren en una situación de peligro.

El diseño de este sistema de señalamiento para la rampa de emergencia para frenado, debe comprender tanto el señalamiento horizontal como el señalamiento vertical, previos a la rampa y en ella, adicionales a los señalamientos normales de la carretera a que se refiere la Norma Oficial Mexicana *NOM-034-SCT2/SEDATU-2022 Señalización y dispositivos viales para calles y carreteras*, más adelante se desarrollará este apartado.

Aunque las rampas de emergencia para frenado tengan que tener los mismos elementos para brindar seguridad, no todas las rampas comparten las mismas características geométricas ya que son construidas en diferentes entornos y condiciones; por lo anterior, deberán diseñarse apeguándose a las limitaciones de espacio, geometría de la vía y entorno geográfico, para ello se contempla la clasificación de las rampas de emergencia para frenado en 4 tipos, siendo estos los siguientes:

- **Rampas con montículo (RE-1):** Las que tienen una cama de frenado formada por un montículo de material granular suelto y seco con pendiente ascendente y espesor creciente

que funciona como disipador de energía para disminuir y detener la carrera de los vehículos sin frenos por la resistencia a la rodadura de las llantas, la acción de la gravedad por la pendiente longitudinal ascendente del montículo y eventualmente por la fricción entre el material granular y algunas partes del vehículo (Obsérvese Figura 11). Solo se utilizará este tipo de rampas cuando se tengan limitaciones de espacio y su conveniencia está sustentada en un estudio técnico que la justifique en términos de la disipación de la energía del vehículo. En México, hasta el año 2022 no se tiene el registro de alguna rampa de emergencia construida con esta configuración, por ello está en proceso de revisión su eliminación de la normativa.

Figura 11.

Esquema de Rampa de montículo, NOM-036-SCT2-2016

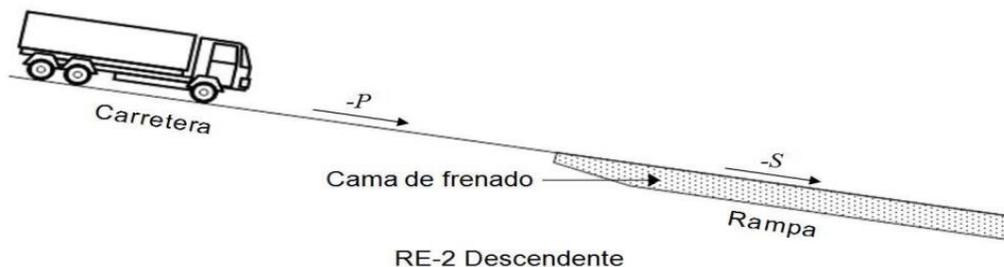


Nota. Figura obtenida de la NOM-036-SCT2-2016, Rampas de emergencia para frenado en carreteras.

- **Rampas descendentes (RE-2):** Las que tienen una cama de frenado de espesor uniforme con pendiente longitudinal descendente, la acción de detención se limita al aumento de la resistencia a la rodadura, y debido a que la acción de la gravedad tiene un efecto acelerador, estas rampas suelen ser las de mayor longitud dependiendo de la magnitud de su pendiente descendente, de las características del material granular y de la velocidad del vehículo para la que se diseñen (Obsérvese Figura 12).

Figura 12.

Esquema de Rampa Descendente, NOM-036-SCT2-2016

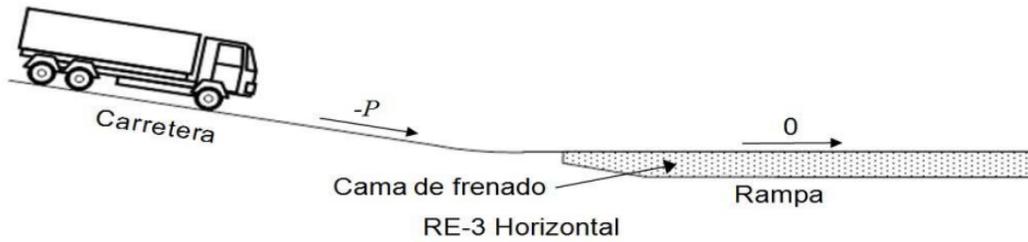


Nota. Figura obtenida de la NOM-036-SCT2-2016, Rampas de emergencia para frenado en carreteras.

- **Rampas horizontales (RE-3):** Las que tienen una cama de frenado horizontal de espesor uniforme, sin pendiente longitudinal. La detención se limita al aumento de la resistencia a la rodadura. Como el efecto de la gravedad en la detención es nulo, estas rampas suelen ser largas dependiendo de las características del material granular y de la velocidad del vehículo para la que se diseñen (Obsérvese Figura 13).

Figura 13.

Esquema de Rampa Horizontal, NOM-036-SCT2-2016.

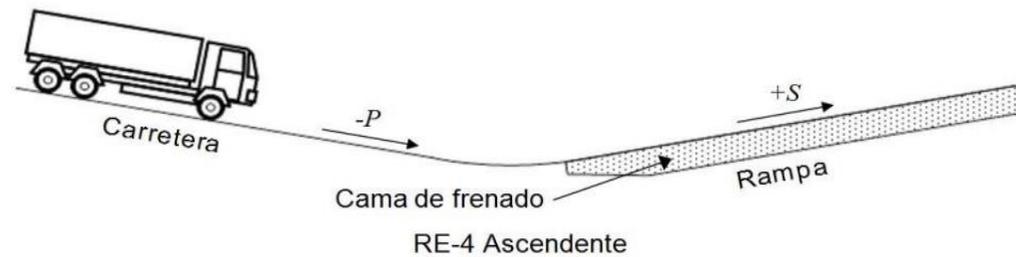


Nota. Figura obtenida de la NOM-036-SCT2-2016, Rampas de emergencia para frenado en carreteras.

- **Rampas ascendentes (RE-4):** Las que tienen una cama de frenado con espesor uniforme y pendiente longitudinal ascendente. Como en la detención se aprovecha la resistencia a la rodadura y la acción de la gravedad por la pendiente longitudinal ascendente, estas rampas suelen ser menos largas que las rampas descendentes y horizontales (Obsérvese Figura 14).

Figura 14.

Esquema de Rampa Ascendente NOM-036-SCT2-2016.



Nota. Figura obtenida de la NOM-036-SCT2-2016, Rampas de emergencia para frenado en carreteras.

Para la elaboración del proyecto de una rampa de emergencia para frenado, se requiere contar con la información detallada del proyecto geométrico de la carretera en el tramo donde se ubicará la rampa, con base en ello se dispondrá de la información respecto a espacio disponible para la colocación de la rampa considerando además el derecho de vía disponible en el tramo; una vez

obtenidos esos datos generales, podremos seleccionar alguno de los 4 tipos de rampas antes mencionados.

El derecho de vía es la franja de terreno que se requiere para la construcción, conservación, ampliación, protección y en general para el uso adecuado de una vía general de comunicación, cuya anchura y dimensiones fija la Secretaría, la cual no podrá ser inferior a 20 metros a cada lado del eje del camino, tratándose de carreteras de dos cuerpos, se medirá a partir del eje de cada uno de ellos; este aspecto juega un papel importante en el diseño de una rampa de emergencia para frenado ya que en muchas ocasiones no se cuenta con el espacio suficiente para desarrollar la longitud total de la rampa, por lo que se deben realizar modificaciones geométricas que pueden conllevar mayores gastos en su construcción.

4.3 Diseño de rampas de emergencia para frenado

El diseño de cada rampa de emergencia para frenado comprende la determinación de su ubicación, tipo y geometría; la selección de los materiales adecuados para su construcción y la definición de sus sistemas de drenaje y subdrenaje; así como de su equipamiento tal como lo es el señalamiento horizontal y vertical, dispositivos de seguridad, iluminación y cámaras de detección automática de incidentes, según sea su compatibilidad con la topografía y las características del lugar.

Su diseño se hará de tal forma que permitan asegurar las condiciones necesarias para que los conductores de vehículos fuera de control conozcan su existencia, entiendan las maniobras que realizarán, sientan la confianza suficiente para ingresar a las rampas en forma segura y no continúen por la ruta principal, para ello se considerará lo siguiente:

- Las rampas serán claramente visibles para evitar la percepción de discontinuidades que desalienten la entrada a las mismas.
- El acceso a la rampa deberá ser lo suficientemente amplia para alojar la cama de frenado y el camino de servicio, con suficiente espacio adicional para poder realizar los trabajos de conservación del área.
- El ángulo de entrada a la rampa respecto al eje de la carretera, medido a partir del tramo en tangente en el que se ubicará la rampa, será de cinco grados (5°) como máximo, con el fin de asegurar la estabilidad del vehículo durante la maniobra de ingreso a la rampa y su alineamiento
- El pavimento de la carretera se extenderá por el acceso hasta el sitio donde inicie la cama de frenado de la rampa, con el fin de que los vehículos puedan entrar de manera expedita.
- Las rampas se iluminarán para facilitar su uso en condiciones de conducción nocturna o en condiciones climatológicas adversas.
- Se instalará una cámara de detección automática de incidentes que permita monitorear cada evento que ocurra, estimar la velocidad de entrada y alertar a las instancias de emergencia de su ocurrencia.

Asimismo, se ubicarán en aquellos tramos en los que exista una alta probabilidad de que, por efecto de un alineamiento vertical descendente, los vehículos con los frenos dañados puedan acelerarse a velocidades mayores que las toleradas por el alineamiento horizontal o hasta ciento cuarenta kilómetros por hora (140 km/h) y en aquellos tramos en los que se haya presentado anualmente un accidente fatal, causados por los vehículos sin frenos y que resultaron en colisiones con otros vehículos o con instalaciones ocupadas por otras personas; para la determinación de su ubicación, se tomará en cuenta que:

- No se emplazarán rampas de emergencia para frenado al costado izquierdo del tramo de la carretera con pendiente descendente, para evitar que los vehículos fuera de control crucen con carriles de sentido de circulación opuesto, salvo cuando se trate de carreteras de cuerpos separados en las que las rampas puedan alojarse dentro de la faja separadora central, donde no exista el riesgo de que esos vehículos invadan el otro cuerpo de la carretera.
- Las rampas de emergencia para frenado se ubicarán antes de los sitios que, por sus características geométricas, pudieran poner en riesgo a los usuarios de la carretera por un vehículo fuera de control.
- La velocidad de entrada a una rampa de emergencia para frenado, se determinará mediante la siguiente expresión, con un límite máximo de ciento cuarenta kilómetros por hora (140 km/h):

$$V_e = (Vp^2 - 254 \sum_{i=1}^n Lp_i(R + P_i))^{1/2} \quad \text{– Ecuación (1)}$$

Donde:

V_e= Velocidad de entra a la rampa, (km/h)

V_p= Velocidad de operación media o velocidad de proyecto para carreteras nuevas o existentes que se tengan que rediseñar, en el sitio donde inicie el tramo con pendientes descendentes continuas o en el sitio de entrada a una rampa cuando se proyecte otra subsecuente (km/h).

n = Número de subtramos con pendientes descendentes diferentes, que integran el tramo para el que se proyecta la rampa (adimensional)

L_{pi} = Longitud del subtramo i con pendiente descendente P_i (m).

R = Resistencia a la rodadura de la superficie del pavimento, diez milésimos (0.010) cuando la carpeta sea de concreto hidraulico o doce milésimos (0.012) cuando sea asfáltica (adimensional, expresada en términos de pendiente equivalente)

P_i = Pendiente descendente (negativa) del subtramo i de longitud L_{pi}, en metro/metro (adimensional)

La obtención de la velocidad de entrada es fundamental; pensemos que nos encontramos con una pendiente descendente continua; en aquellos puntos del tramo donde se alcancé la velocidad máxima de entrada de 140 km/h, serán los sitios potenciales donde podrá establecerse una rampa de emergencia para frenado, en algunos casos donde la siniestralidad del tramo sea muy alta debido a las fallas mecánicas en el sistema de frenado será necesario establecer una serie de rampas, las cuales conforman un sistemas de rampas, este sistema puede ser una solución correctiva en aquellos sitios donde la siniestralidad donde la principal causa sea por fallas mecánicas en los vehículos.

La geometría de la rampa de emergencia para frenado se encuentra muy bien establecida y definida en la normativa, el ancho total que se encuentra dentro de lo permitido es de quince metros (15 m) mínimo y de diecisiete metros (17 m) como máximo, este ancho considera un rango entre diez y doce metros (10 – 12 m) para la cama de frenado y cinco metros (5 m) para el camino de servicio. La longitud desde la orilla de la corona de la carretera hasta el término de la rampa, comprenderá la longitud del acceso pavimentado, que será la necesaria para alojar la curva vertical y a un vehículo de doble semirremolque de treinta y un metros (31 m), que permita pasar de la pendiente de la carretera a la pendiente inicial de la cama de frenado y la longitud de esta última, que será la necesaria para detener completamente a los vehículos.

La longitud de la curva vertical se determinará considerando que la fuerza centrífuga que se ejerce en el vehículo al cambiar de dirección no exceda a tres como cinco metros sobre segundo al cuadrado (3,05 m/s²).

La longitud de la cama de frenado, si su pendiente es uniforme, se aplicará la siguiente expresión:

$$Le = \frac{Ve^2}{254(R+Sl)} \quad \text{– Ecuación (2)}$$

Donde:

Le = Longitud efectiva de la cama de frenado (m)

Ve = Velocidad de entrada a la rampa, calculada como se indica en la Ecuación (1)

R = Resistencia a la rodadura del material con que se formará la cama de frenado, de acuerdo a la Tabla 4

Sl = Pendiente de la cama de frenado, positiva si es ascendente o negativa si es descendente en metro/metro (adimensional).

Tabla 4.

Resistencia a la rodadura, expresada en término de pendiente equivalente, (AASHTO, 2011)

Material de la cama de frenado	Resistencia a la rodadura R
Grava triturada suelta	0.05
Grava de río suelta	0.1
Arena Suelta	0.15
Gravilla uniforme suelta	0.25

Nota. Adaptada de la NOM-036-SCT2-2016, Rampas de emergencia para frenado en carreteras.

Si su pendiente es variable, se determinará la velocidad del vehículo en cada cambio de pendiente, hasta una longitud suficiente para detener el vehículo fuera de control. La velocidad final al término de la primera pendiente será calculada y utilizada como la velocidad inicial en la segunda pendiente y así sucesivamente hasta que la velocidad inicial en la segunda pendiente y así sucesivamente hasta que la velocidad final resulte igual a cero (0), mediante las siguientes expresiones:

$$VF_j^2 = VI_j^2 - 254 L_j(R \pm S_j) \quad \text{– Ecuación (3)}$$

$$Le = \sum_{j=1}^k L_j \quad \text{– Ecuación (4)}$$

Donde:

VF_j = Velocidad final al termino del subtramo j que se analiza de la cama de frenado (km/h)

VI_j = Velocidad inicial en el subtramo j que se analiza de la cama de frenado, que corresponde, para el primer subtramo, a la velocidad de entrada (V_e) calculado como se indica en la Ecuación (1), y para los subtramos subsecuentes, a la velocidad final calculada para el subtramo $j - 1$ (VF_{j-1}) inmediato anterior (km/h).

L_j = Longitud efectiva del subtramo j que se analiza de la cama de frenado (m).

R = Resistencia a la rodadura del material con que se formará la cama de frenado, de acuerdo a la tabla XX.

S_j = Pendiente del subtramo j que se analiza de la cama de frenado, positiva si es ascendente o negativa si es descendente en metro/metro (adimensional).

Le = Longitud efectiva de la cama de frenado (m)

k = Número de subtramos de la cama de frenado con pendientes diferentes (adimensional)

La longitud total de la cama de frenado (L_L) será veinticinco (25) por ciento mayor que su longitud efectiva (Le) calculada de acuerdo a las ecuaciones (2) y (4)

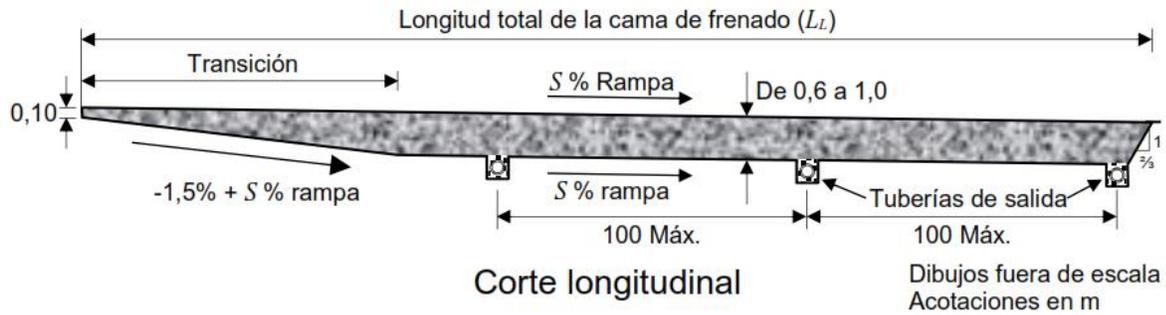
Si por la topografía del terreno o por limitaciones físicas que restrinjan la construcción de la rampa, no es posible proveerla de una cama de frenado con la longitud necesaria obtenida mediante la metodología antes descrita, para impedir que los vehículos salgan de la rampa, la cama de frenado se complementará con un dispositivo que permita detener el vehículo en forma segura, o sustituirla con un dispositivo que mediante pruebas a escala real haya demostrado su efectividad.

El espesor de la cama de frenado dependerá del tipo de rampa de emergencia que será construida:

Para las rampas de emergencia tipo RE-2, RE-3 y RE-4; se tendrá un espesor mínimo de sesenta centímetros (60 cm) a un metro (1 m) y estará colocada a volteo en una caja en la terracería de la rampa, con taludes de dos tercios a uno ($2/3:1$) y profundidad igual que el espesor de la cama. Para evitar desaceleraciones excesivas en el vehículo, la cama se construirá con un espesor de cuando menos diez centímetros (10 cm) en el punto de entrada, que aumentará uniformemente hasta alcanzar su espesor de diseño. Cuando la cama de frenado se construya con grava triturada, el espesor de diseño será de un metro (1 m) como mínimo, para ejemplificar de manera gráfica, se muestra la Figura 15 y Figura 16, las cuales se encuentran contenidas dentro de la normativa vigente.

Figura 15.

Corte longitudinal de la cama de frenado en rampas de emergencia tipo RE-2, RE-3 y RE-4, NOM-036-SCT2-2016.

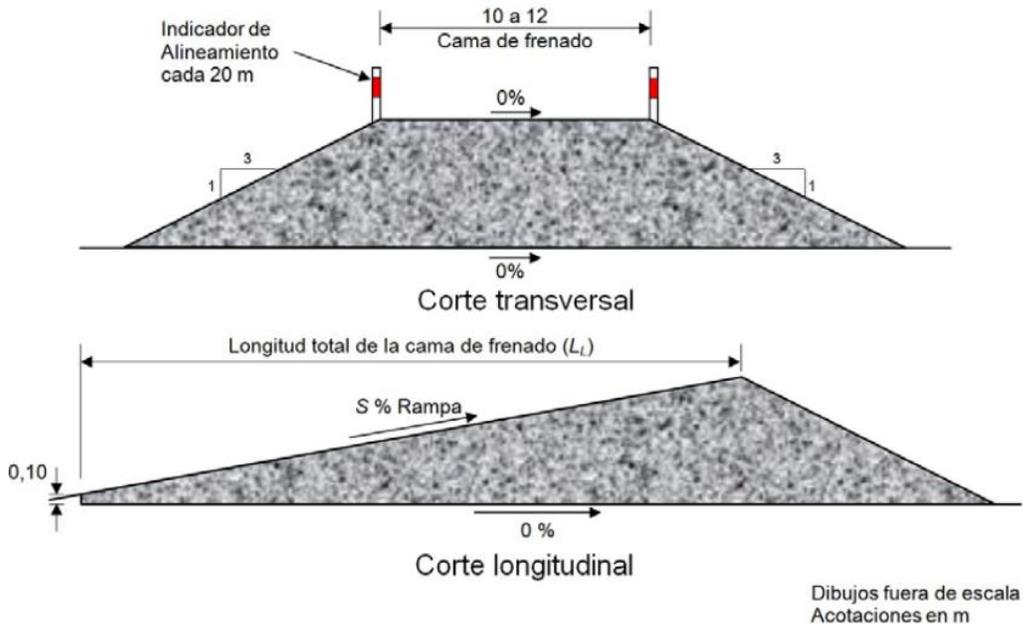


Nota. Figura obtenida de la NOM-036-SCT2-2016, Rampas de emergencia para frenado en carreteras.

En el caso del tipo de rampa RE-1, la cama de frenado se formará colocando el material a volteo, sobre una terracería horizontal, de forma que la pendiente ascendente del montículo sea menor que dos coma cinco por ciento (2,5%) y una longitud total (L_L) calculada de acuerdo a las ecuaciones (2) y (4) con el respectivo aumento del veinticinco (25) por ciento mayor que su longitud efectiva (L_e). Asimismo, sus taludes laterales y el final tendrán como mínimo una inclinación de tres a uno (3:1) y, para evitar que el material se desplace, que su espesor en el punto de entrada sea como mínimo de diez centímetros.

Figura 16.

Corte longitudinal y transversal de la cama de frenado en rampas de emergencia tipo RE-1, NOM-036-SCT2-2016



Nota. Figura obtenida de la NOM-036-SCT2-2016, Rampas de emergencia para frenado en carreteras.

Los materiales que se utilicen para la construcción de la cama de frenado en las rampas de emergencia, deberán ser seleccionados considerando que deberán ser friccionantes, de difícil compactación y deben estar limpios de partículas contaminantes. Estos podrán ser: grava triturada, grava de río, arena o gravilla uniforme, y deberán cumplir con los requisitos de calidad especificados en la normativa.

Respecto al Camino de Servicio y Macizos de Anclaje, estos elementos deberán facilitar el rescate de los vehículos detenidos permitiendo el apoyo adecuado de las grúas de rescate u otros equipos de servicio, de manera que, en conjunto, formen un sistema integral y que los conductores de los vehículos fuera de control no los confundan con la cama de frenado, particularmente durante condiciones de conducción nocturna, considerando que:

- El camino de servicio será adyacente a la cama de frenado, preferentemente en el lado más próximo a la carretera, con un ancho de cinco metros (5 m) y pavimentado igual que los acotamientos de la carretera que provea una superficie firme para los equipos de rescate, alejada de la ruta principal y hacia la cual se puedan arrastrar los vehículos atrapados.
- En los lugares que sea posible, será conveniente que el camino de servicio retorne a la carretera, permitiendo, tanto a la grúa como al vehículo rescatado, un reingreso más fácil a la ruta. El alineamiento horizontal del retorno del camino de servicio se diseñará de forma tal que se elimine la posibilidad de que los conductores de los vehículos ingresen al camino de servicio y no a la cama de frenado.
- El camino de servicio se puede pavimentar de la misma forma o mediante un tratamiento superficial que permita la operación segura y eficiente de los equipos para el rescate, así como para el mantenimiento de la cama de frenado.
- Los macizos de anclaje serán de concreto hidráulico, con las dimensiones y la resistencia que permitan el anclaje o apoyo firme de los equipos de rescate y estarán alojados en el lado del camino de servicio opuesto a la cama de frenado, separados entre sí, en forma equidistante, a no menos de (50) ni más de cien (100) metros. El primero se ubicará lo más próximo posible del sitio donde inicie la cama de frenado, para facilitar el rescate de los vehículos que solo hayan entrado una corta distancia en ella.

En cuanto al sistema de drenaje y subdrenaje, se deberá considerar lo siguiente:

- Las rampas de emergencia para frenado del tipo RE-2, RE-3 y RE-4 se deben diseñar con una pendiente transversal de dos por ciento (2%) como mínimo, en el fondo de la caja que alojará la cama de frenado, para interceptar y recolectar el agua que se infiltre.
- En el lado más bajo de la caja que alojará la cama de frenado, se debe diseñar un subdren con una pendiente longitudinal mínima de uno coma cinco por ciento (1,5%)

Dentro del sistema vial, los señalamientos juegan un papel de suma importancia, ya que su presencia es fundamental para las personas que transitan tienen la función de transmitir

información específica a quienes transitan por la carretera o por la ciudad, de esta manera, los señalamientos orientan a las personas respecto al sitio donde se encuentran, sobre su destino, sobre las condiciones del camino o bien, están presentes para regular el tránsito y fortalecer la seguridad vial durante su trayecto.

El señalamiento se define como el conjunto integrado de marcas y señales que indican la geometría de las carreteras y vialidades urbanas, así como sus bifurcaciones, cruces y pasos a nivel; previenen sobre la existencia de algún peligro potencial en el camino y su naturaleza; regulan el tránsito indicando las limitaciones físicas o prohibiciones reglamentarias que restringen el uso de esas vías públicas; denotan los elementos estructurales que están instalados dentro del derecho de vía; y sirven de guía a los usuarios a lo largo de sus itinerarios.

Nos referimos al señalamiento horizontal como al conjunto de marcas que se pintan o colocan sobre el pavimento, guarniciones y estructuras, con el propósito de delinear las características geométricas de las carreteras y vialidades urbanas, y denotar todos aquellos elementos estructurales que estén instalados dentro del derecho de vía, para regular y canalizar el tránsito de vehículos y peatones, así como proporcionar información a los usuarios. Estas marcas son rayas, símbolos, leyendas o dispositivos.

En seguridad vial, el señalamiento horizontal es una de las medidas más rentables económicamente y eficientes para enviar mensajes a los conductores, siempre y cuando se instale de manera correcta.

Por otro lado, el señalamiento vertical se refiere al conjunto de señales que son colocadas sobre tableros fijados en postes, marcos y otras estructuras, integradas con leyendas y símbolos. Según su propósito, las señales verticales son:

- **Preventivas:** Cuando tienen por objeto prevenir al usuario sobre la existencia de algún peligro potencial en el camino y su naturaleza.
- **Restrictivas:** Cuando tienen por objeto regular el tránsito indicando al usuario la existencia de limitaciones físicas o prohibiciones reglamentarias que restringen el uso de la vialidad.
- **Informativas:** Cuando tienen por objeto guiar al usuario a lo largo de su itinerario por carreteras y vialidades urbanas, e informarle sobre nombres y ubicación de las poblaciones y de dichas vialidades, lugares de interés, las distancias en kilómetros y ciertas recomendaciones que conviene observar.
- **Turísticas y de servicios:** Cuando tienen por objeto informar a los usuarios la existencia de un servicio o de un lugar de interés turístico o recreativo.
- **Diversas:** Cuando tienen por objeto encauzar y prevenir a los usuarios de las carreteras y vialidades urbanas, pudiendo ser dispositivos diversos que tienen por propósito indicar la existencia de objetos dentro del derecho de vía y bifurcaciones en la carretera o vialidad urbana, delinear sus características geométricas, así como advertir sobre la existencia de curvas cerradas, entre otras funciones.

El diseño del señalamiento de una rampa de emergencia para frenado, comprenderá tanto el señalamiento horizontal como el señalamiento vertical, previo a la rampa, y en ella; además, este sistema se integrará adicionalmente al señalamiento normal de la carretera.

El señalamiento horizontal para guiar al usuario hacia el acceso a la rampa de frenado consiste en marcas especiales pintadas o colocadas en el pavimento, tanto en tangentes como en curvas, denominadas Rayas para frenado de emergencia (M-14). Asimismo, estas marcas son complementadas con algunas marcas generales para diferenciar claramente el arroyo vial de la carretera para evitar que los vehículos fuera de control continúen por la vialidad principal, un ejemplo son las rayas canalizadoras (M-5) que son colocadas en la bifurcación del acceso a la rampa con la vía principal, estas marcas deberán ser instaladas conforme a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-034-SCT2/SEDATU-2022, *Señalización y dispositivos viales para calles y carreteras*.

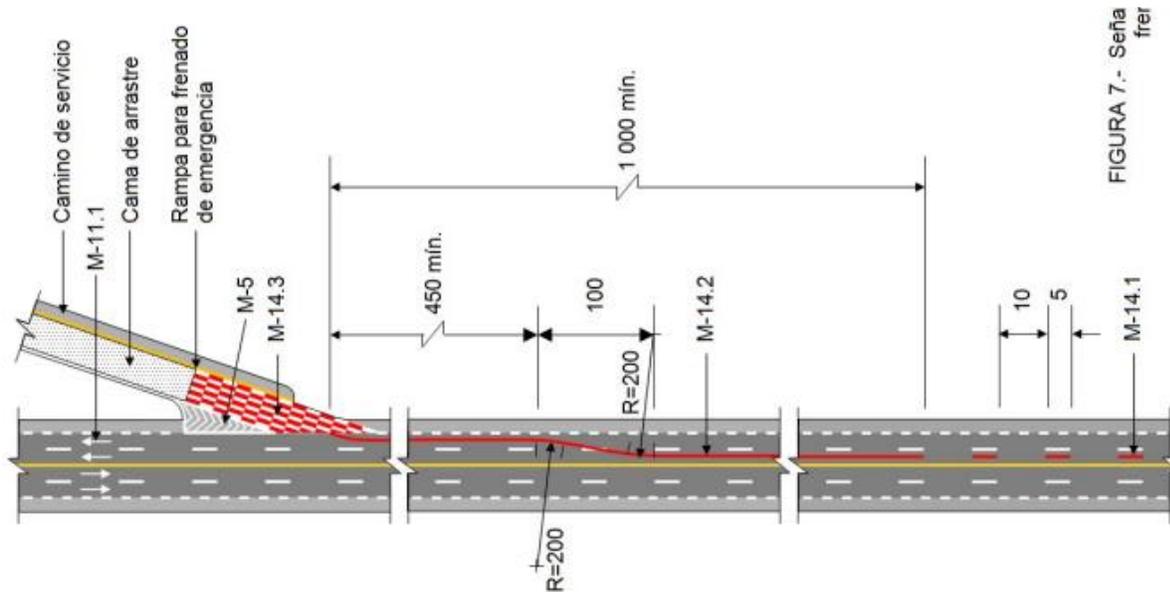
El señalamiento horizontal exclusivo para el uso de la rampa de frenado de emergencia se compone de los siguientes elementos:

- **Raya de emergencia para frenado discontinua (M-14.1):** Se utiliza para guiar a los vehículos que pudieran estar fuera de control, desde el sitio donde inicia la pendiente descendente continua y prolongada para la que se diseña la rampa, hasta mil (1,000) metros antes de su entrada, lugar donde los conductores han de tomar la decisión de entrar a ella. Se sitúa al centro del carril descendente de la carretera o si ésta es de dos o más carriles por sentido de circulación, al centro del carril de la extrema izquierda y consiste en segmentos de color rojo reflejante de cinco (5) metros de largo y veinte (20) centímetros de ancho, separados entre sí diez (10) metros.
- **Raya de emergencia para frenado continua (M-14.2):** Consiste en una raya continua de color rojo reflejante y veinte (20) centímetros de ancho. Se utiliza para guiar en forma continua a los vehículos que estén fuera de control, desde el sitio donde concluya la raya de emergencia para frenado discontinua hasta la orilla del arroyo vial donde inicie el acceso a la cama de frenado de la rampa. Se sitúan al centro del carril descendente de la carretera o si ésta es de dos o más carriles por sentido de circulación, al centro del carril de la extrema izquierda y, si la rampa se ubica a la derecha del camino, en una tangente ubicada a no menos de quinientos (500) metros antes de la entrada a la rampa, esta raya continua se debe pasar suavemente de dicho carril al carril de extrema derecha.
- **Marca para indicar el acceso a una rampa de emergencia para frenado (M-14.3):** Se utiliza para hacer franca la entrada a la cama de frenado a los conductores de los vehículos que estén fuera de control, entre el límite del arroyo vial que se abandona y el inicio de la cama de frenado. Consta de un tablero formado con rectángulos rojos y blancos reflejantes, inscritos en forma alternada, cada uno de tres (3) metros de largo en el sentido del eje longitudinal de la rampa por un (1) metro de ancho.

Las rayas M-14.1 y M-14.2 podrán ser complementadas con botones reflejantes que tengan en la cara opuesta al sentido de circulación un reflejante del color rojo, estos botones estarán ubicados a cada quince (15) metros en curvas y treinta (30) metros en tangentes, al centro del espacio entre segmentos marcados cuando la raya sea discontinua o sobre la raya continua a partir del sitio donde se inicie.

Figura 17.

Señalamiento Horizontal para indicar el acceso a la rampa de emergencia para frenado, NOM-036-SCT2-2016.



Nota. Figura obtenida de la NOM-036-SCT2-2016, Rampas de emergencia para frenado en carreteras.

El señalamiento vertical de rampas de emergencia para frenado se integra mediante las señales restrictivas (SR), señales informativas de destino (SID), señales informativas de recomendación (SIR), señales de información general (SIG), señales informativas de servicios (SIS) y señales diversas (OD), y que se indican a continuación y que cumplan con lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-034-SCT2/SEDATU-2022, *Señalización y dispositivos viales para calles y carreteras*, excepto en lo que se refiere a los colores del fondo, de los caracteres, de las flechas y de los filetes de las señales especiales SID-9, SID-13, SID-15, SIR y SIG, en las que el fondo debe ser de color amarillo reflejante y negros los caracteres, las flechas y los filetes, considerando que sólo serán aplicables para el diseño del señalamiento vertical para rampas de emergencia para frenado:

- **Señales restrictivas (SR):** Se deben instalar en la carretera las señales restrictivas SR-22 “Prohibido Estacionarse”, una en el acceso a la rampa de emergencia para frenado, otra en el inicio de la cama de frenado y en la carretera las necesarias hasta quinientos (500) metros antes del acceso a la rampa de emergencia, con una separación máxima entre ellas de ciento cincuenta (150) metros.

- **Señales informativas de destino (SID):** Se deben instalar en la carretera dos señales informativas de destino SID-9 o SID-13, una decisiva a la entrada de la rampa para frenado de emergencia y otra previa a no menos de doscientos (200) metros de esa entrada. En carreteras de un carril por sentido de circulación, estas señales pueden ser bajas o elevadas en bandera, tomando en cuenta el volumen del tránsito y la velocidad de operación, mientras que en carreteras con dos o más carriles por sentido de circulación, siempre deben ser elevadas en bandera, complementadas con dos señales informativas de destino previas elevadas, en bandera (SID-13) o en puente (SID-15), a no menos de cuatrocientos (400) y de setecientos (700) metros de la entrada a la rampa, respectivamente, que indiquen el carril que han de utilizar los vehículos fuera de control.
- **Señales informativas de recomendación (SIR):** Se deben instalar en la carretera cuatro señales informativas de recomendación SIR como las mostradas:
 - Una con la leyenda “VEHICULO SIN FRENOS ALERTE CON LUCES Y CLAXON”, ubicada lo más próximo posible al sitio donde inicie la pendiente descendente continua y prolongada para la que se diseña la rampa para frenado de emergencia.
 - Otra con la leyenda “VEHICULO SIN FRENOS SIGA LA RAYA ROJA”, ubicada a no menos de cien (100) metros de la señal anterior.
 - Dos con la leyenda “CEDA EL PASO A VEHICULO SIN FRENOS”, ubicadas a no menos de seiscientos cincuenta (650) metros de la entrada a la rampa y de doscientos (200) metros del sitio donde inicie la pendiente de la carretera.
- **Señales información general (SIG):** Se debe instalar en la carretera una señal de información general SIG, a no menos de quinientos (500) metros de la rampa de emergencia para frenado, preferentemente en el sitio donde la raya roja continua M-14.2 cambie del carril de alta velocidad al de baja y, en el caso de que el tramo con pendiente descendente de la carretera sea largo, se debe instalar otra señal igual, a cuando menos mil (1.000) metros de la primera.
- **Señal informativa de servicios (SIS):** A un lado del acceso a la rampa se debe instalar una señal informativa de servicios SIS-65 “Asistencia Telefónica en Vialidades” que indique el número telefónico donde se puede solicitar auxilio, complementada con un tablero adicional con el nombre de la carretera y el número de la ruta, la ubicación de la rampa en kilómetros más metros y las coordenadas geográficas (longitud y latitud) en grados con seis decimales.
- **Señales Diversas (OD):** Se debe instalar un indicador de obstáculos OD-5 en la zona neutral formada por las rayas canalizadoras en la entrada a la rampa de emergencia para frenado. También se deben colocar indicadores de alineamiento OD-6, con reflejante rojo, como el mostrado en la figura 18; de concreto hidráulico, de policloruro de vinilo (PVC) o de algún otro material flexible; inastillable y resistente a la intemperie, ubicados a cada veinte (20) metros en ambos lados de la cama de frenado, desde donde inicie la rampa hasta donde termine la cama, a excepción de las rampas tipo RE-1 en las que se colocarán estos indicadores hasta donde el montículo alcance un espesor de 60 cm.

Antes del acceso a la rampa se requerirá señalamiento restrictivo para indicar las zonas donde está prohibido estacionar o parar, con el fin de proporcionar un espacio libre para los vehículos que requieran entrar a la rampa. Se recomienda que las señales que indican las restricciones de estacionar sean bajas (en el costado donde sean requeridas). Por otro lado, es de suma importancia incluir señalamiento preventivo antes de que comience el alineamiento en descenso, con el fin de informar a los usuarios sobre esta condición y lleven a cabo los ajustes necesarios para afrontarlo.

Para el caso de las señales que previenen sobre la proximidad de la pendiente en descenso, también es preferible el uso de señales bajas (en ambos costados de la vía en caso de sentidos de circulación separados), puesto que las señales elevadas requieren de estructuras rígidas que representan un objeto fijo cercano al flujo de tránsito y por lo tanto un peligro ante una posible salida del camino. Si por el número de carriles en un mismo sentido (tres o más) el uso de señales preventivas bajas no ayuda a que éstas sean visibles, entonces sí se sugiere el empleo de señales elevadas.

En cuanto a las señales de tipo informativas que deben incluirse cuando se instala una rampa de emergencia, es trascendental que sus instrucciones no sean mal interpretadas o pasen desapercibidas, por lo cual se sugiere el empleo de un color específico para éstas. En México y en Estados Unidos las señales informativas relativas a rampas de emergencia deben tener un color amarillo.

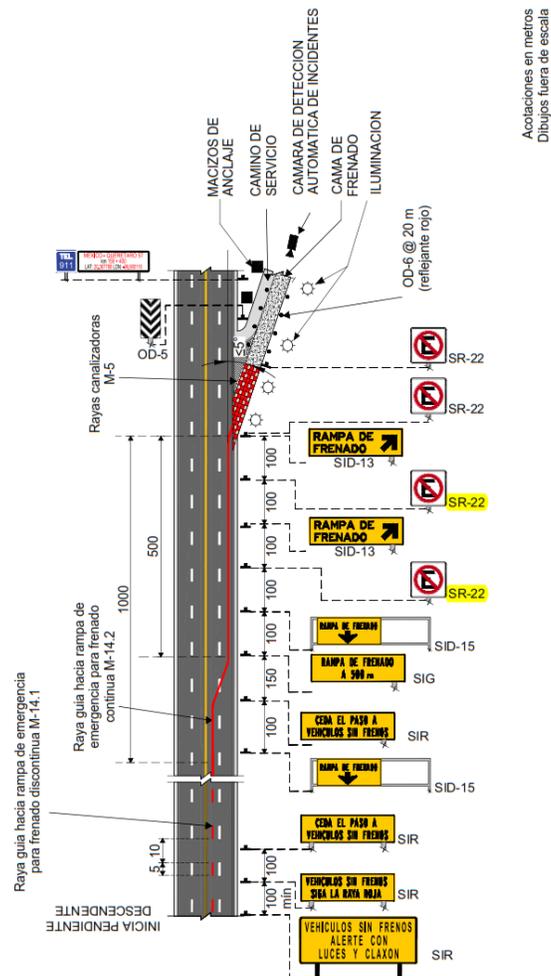
Entre estas señales informativas, las de mayor importancia son las “de destino”, tanto previas como decisivas, las cuales, dependiendo del número de carriles de circulación en un mismo sentido, se preferirá instalarlas como bajas o elevadas, teniendo en cuenta siempre el riesgo añadido que representa la elección de una señal elevada (su estructura se transforma en un objeto fijo muy rígido) o el costo de proteger sus postes mediante sistemas de contención. Asimismo, dependiendo de las características de operación del tramo donde se instalará la rampa, se sugiere el empleo de al menos dos señales de destino previas.

Finalmente, con el fin delimitar claramente la cama de frenado, se recomienda colocar “indicadores de alineamiento” a sus costados. Los indicadores de alineamiento son señales bajas que se usan para delinear la orilla de la carretera u otros elementos como es este caso. En la práctica existen rampas cuyas camas de frenado fueron delimitadas con indicadores de obstáculos y aunque parecen ofrecer una guía correcta no se debe perder de vista que éstos suelen ser elementos metálicos más rígidos.

Para ejemplificar el orden del señalamiento horizontal y vertical de una rampa de emergencia, se muestra en la Figura 18, un plano tipo respecto al señalamiento que deberá ser instalado de acuerdo a la normativa, las distancias pueden variar de acuerdo a las condiciones geométricas del tramo donde será construida la rampa de emergencia para frenado.

Figura 18.

Plano tipo de señalamiento instalado de acuerdo a la normativa, NOM-036-SCT2-2016.



Nota. Elaboración propia con base a la NOM-036-SCT2-2016, Rampas de emergencia para frenado en carreteras.

Es fundamental no saturar con señales verticales innecesarias la zona previa a la rampa de emergencia, por lo cual deberá analizarse meticulosamente el diseño del señalamiento cuando menos dos kilómetros antes del acceso a la rampa.

Además de los sistemas anteriormente descritos que sirven para el funcionamiento adecuado de la rampa de emergencia para frenado, se deberá instalar un sistema de iluminación para su operación segura en condiciones nocturnas, además, una correcta iluminación logra hacerlas visibles en ausencia de luz natural y con ello se brinda la confianza a los conductores que requieran utilizarlas. Aunque esto puede ser complicado debido a que las rampas suelen ser necesarias en entornos con topografía complicada, no es raro que se localicen en zonas alejadas de poblaciones, por lo cual es probable que no haya suministro eléctrico. Por suerte, en la actualidad existen múltiples sistemas de alumbrado que funcionan a través de paneles solares, sin embargo, será importante brindarles

un oportuno mantenimiento rutinario para garantizar su correcto funcionamiento. El tipo y periodicidad del mantenimiento que deberá darse a estos sistemas dependerá de sus especificaciones técnicas y de las condiciones climáticas a las que se encuentren expuestos.

Por último, al ser las rampas de emergencia para frenado en carreteras importantes dispositivos de seguridad instalados, como su nombre lo dice, para atender “emergencias”, es recomendable que se coloquen cámaras de monitoreo con sensores que emitan una alarma al detectar el ingreso en ellas.

En ocasiones, por el entorno donde son requeridas las rampas de emergencia, es complicado cumplir con la longitud de cama de frenado necesaria para detener al vehículo fuera de control, la cual depende a su vez del tipo de material usado, la pendiente y la velocidad de diseño. Existen varias opciones para enfrentar estas restricciones de espacio, con el fin de lograr el frenado del vehículo en el área disponible. Algunos ejemplos encontrados son el diseño de la cama de frenado con montículos transversales, amortiguadores de impacto al final de la rampa (como barriles) o el complemento con otros sistemas mecánicos

A la Norma Oficial Mexicana NOM-036-SCT2-2016 le antecede la NOM-036-SCT2-2009 que fue la primera norma oficial que establece los criterios generales que se deben considerar para el diseño y construcción de las rampas de emergencia para frenado en las carreteras mexicanas, los cambios más destacables entre ambas normas podrán observarse en la Imagen 18; además, entre los cambios que obliga al concesionario de la rampa a la actualización y mejoramiento del dispositivo es el punto número 7 “Proyecto de rampas de emergencia para frenado en carreteras” el cual establece que *“en caso de construcción de una nueva rampa, así como de la, ampliación, modificación o reconstrucción de una rampa de emergencia para frenado existente debe cumplir con lo correspondiente al camino de acceso, la cama de frenado, el camino de servicio, sistema de drenaje y subdrenaje, proyecto de señalamiento horizontal y vertical, proyecto de iluminación y el sistema de cámaras de detección automática de accidentes.”* Por lo anterior, las rampas construidas tenían que ser actualizadas para el cumplimiento de la normativa ahora vigente para seguir brindando servicio a la población.

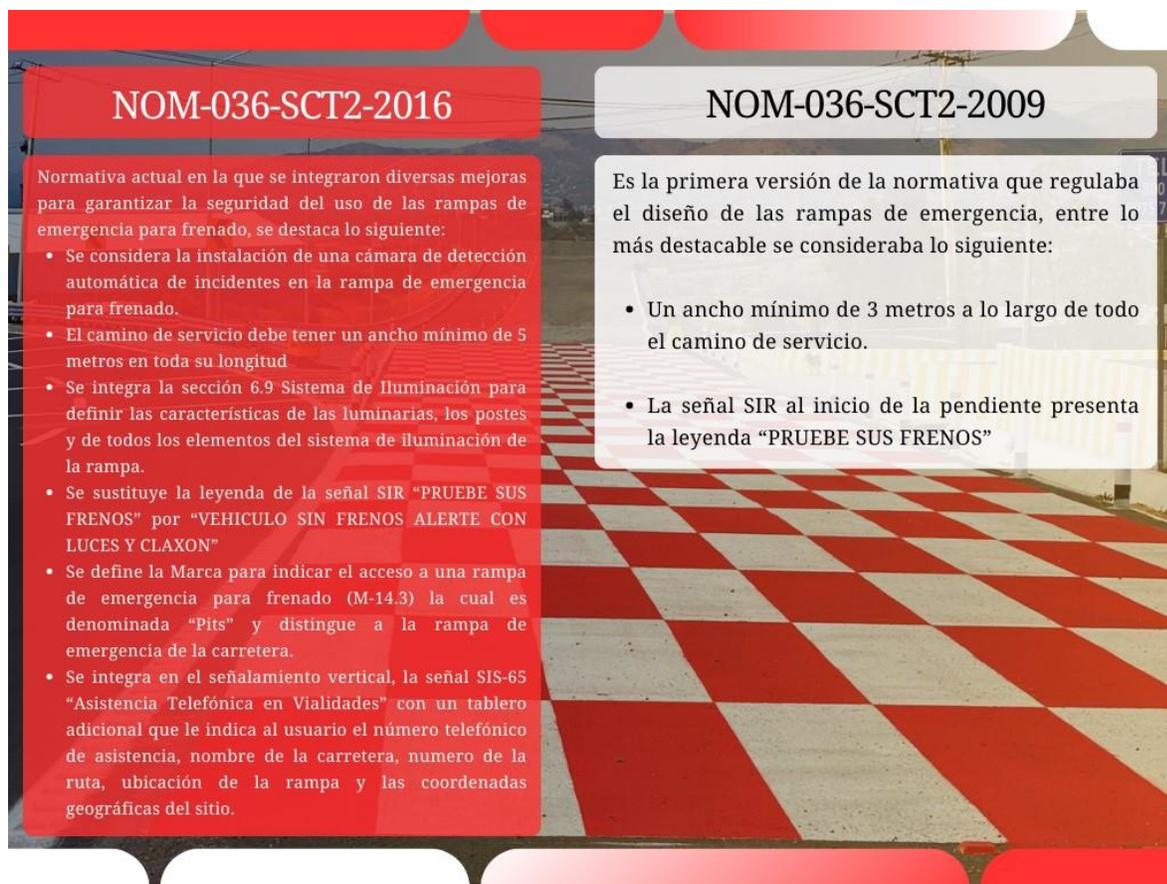


Imagen 18. Comparativa entre la NOM-036-SCT2 del año 2009 y 2016, elaboración propia.

4.4 Panorama actual de las rampas de emergencia para frenado en México

Actualmente, las rampas de emergencia que se construyen en México son del tipo "cama de frenado", las cuales se clasifican a su vez en: ascendentes, horizontales y descendentes. Este tipo de rampas están compuestas por una "cama" de material suelto alojado en un cajón de determinada profundidad, que hacen que el vehículo fuera de control se quede atascado en ella. Las rampas de emergencia con cama de frenado tienen un diseño particular para que funcionen de manera segura, como es la transición de su profundidad, la cual comienza con poco espesor a la entrada. La función de este incremento progresivo del grosor es para lograr un frenado gradual y que, tanto el vehículo como los pasajeros y la carga, no sufran daños.

En la RCF mexicana, se localizaron un total de 57 rampas en la red de cuota y 18 en la red libre de peaje. Es importante mencionar que no todas estas rampas se encuentran en funcionamiento, ya que algunas se encuentran en franco deterioro o cerradas por tareas de mantenimiento. Adicionalmente, es probable que existan más (no detectadas o de nueva creación).

Aunque en los últimos años se han comenzado a buscar otro tipo de rampas de frenado, un tipo en el que más se ha mostrado interés respecto a su funcionamiento son las que funcionan de manera

mecánica a través de redes y que van desacelerando gradualmente al vehículo fuera de control. Su diseño permite accionar diferente número de redes dependiendo de la velocidad y peso del vehículo a detener. La gran ventaja de estas rampas mecánicas es la menor longitud que demandan para su funcionamiento, así como el ahorro en tareas de conservación en caso de no utilizarse.

Con respecto a su conservación, por ejemplo, una rampa de emergencia con cama de frenado requiere de mantenimiento periódico sea o no utilizada, principalmente en lo que respecta al aflojado y limpieza del material que conforma la cama para evitar su consolidación y contaminación. Ahora bien, respecto a las rampas mecánicas, su principal desventaja recae en el mayor costo inicial.

Sin embargo, a pesar de que México cuente con las rampas de emergencia para frenado y que se encuentra en un proceso de desarrollo de nuevas tecnologías para hacer más seguro el uso de estas mismas, se ha visto como un tema controversial dado que se han documentado casos en los cuales se comenta acerca de los altos costos que esto conlleva, así como los problemas legales posteriores a su uso, por lo que muchos conductores prefieren hacer uso de otros medios para detener el vehículo, siendo uno de ellos la colisión con vehículos en el camino. Por lo cual es alarmante este tipo de conductas en los usuarios ya que no hacen el debido uso de estos dispositivos.

Un escenario de falla en el sistema de frenado ante el cual el conductor profesional pudiese decidir no ingresar a la rampa de emergencia, obliga a reflexionar sobre los elementos que intervienen en la toma de decisiones.

En una encuesta realizada por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) a través de su publicación *“Recomendaciones de seguridad vial para rampas de emergencia para frenado en carreteras”* en el año 2022, está fue realizada a un grupo no representativo ya que se contó con la participación de 51 personas, de los resultados obtenidos en dicha encuesta, se puede destacar lo siguiente:

- Dos encuestados manifestaron desconocer si el vehículo estaba asegurado. Uno de ellos era un conductor novato con solo dos años de experiencia, pero el otro manifestó tener 18 años en esta labor y dedicado al transporte de materiales y residuos peligrosos, en ambos casos laboraban para pequeñas empresas (seis a 30 unidades de transporte).
- Respecto a una revisión a periodo fijo, es decir, a cada cierto tiempo, cuatro conductores declararon realizar la inspección cada semana y curiosamente uno de ellos manifestó haber ingresado en una rampa de emergencia; otros tres operadores declararon revisar cada 24 horas. La experiencia promedio de estos grupos fue de 16.0 y 14.3 años, respectivamente.
- Para 21 encuestados, la falla es exclusiva a un solo factor; 10 operadores la asocian con el vehículo, seis al conductor y cinco al camino.
- De manera general, la mayoría afirma que la causa de la pérdida de frenos es debido a las malas condiciones de los frenos (74.5 %), un 60.8 % afirma que es debido a una mala conducción y un 47.1 % afirma que es debido a la infraestructura (mal diseño y objetos

tirados en la vía). La suma de los percentiles es mayor a 100 debido a que se permitió la elección de múltiples respuestas.

Uno de los puntos más importantes de esta encuesta fue a través de un ejercicio de imaginación y haciendo alusión a un escenario en el cual se presentará la falla en el sistema de frenos y existiese una rampa de emergencia en el tramo, se planteó una pregunta sobre las razones por las cuales el operador no ingresaría al dispositivo de frenado. Los motivos expuestos se pueden agrupar en aquellos que hacen alusión a las consecuencias económicas *-porque me cobrarán por usarla, por el costo de la grúa de rescate, miedo a ser multado-* y otro grupo relativo a la efectividad del dispositivo *-porque son inseguras y miedo a que la carga me aplaste-*; también se proporcionaron las opciones “ninguna de las anteriores”, “definitivamente entraría” y se dejó la opción para una respuesta abierta y la selección de múltiples motivos.

- 35 de los 51 conductores declaró que bajo el escenario planteado ingresaría a la rampa de emergencia sin lugar a duda, aunque dos añadieron comentarios que exponen su preocupación sobre la funcionalidad. A este respecto, un operador manifestó que si esto le ocurriese en el norte del país no ingresaría, mientras que otro señaló que algunas le parecen muy cortas y no le inspiran confianza. Por otra parte, un operador condiciona el ingreso dependiendo de la velocidad y peso de la carga.
- 16 de los 51 encuestados declaró que no ingresaría. Ocho argumentaron su negativa en ambos grupos de motivos (tanto los económicos como los de funcionalidad), seis hicieron alusión de manera exclusiva a los motivos económicos y dos a los motivos de funcionalidad.
- 2 de los 51 conductores encuestados manifestaron que en el pasado ya habían ingresado a una rampa de emergencia y, bajo el escenario expuesto en el ítem, no eligen la opción “definitivamente entraría”. Uno de ellos argumenta motivos económicos “cobro por uso y cobro por la grúa” y el otro operador por motivos de funcionalidad “porque son inseguras”. Resultando interesante que ambos operadores declararon que el seguro del vehículo cubre los gastos derivados del ingreso y aun así no estarían completamente seguros de entrar a la rampa.

De los dos operadores que manifestaron haber entrado a una rampa de emergencia, en ningún caso hubo lesiones. Uno de ellos pagó \$35,000 pesos (por uso y rescate) y otro \$8,000 (sólo por rescate ya que no hubo cobro por uso). Ambos recomendarían su uso en caso de necesitarlo, pero también manifestaron extorsión y abuso por parte de la policía, así como una inseguridad hacia las rampas cortas y con pendiente ascendente pronunciada.

Respecto al conocimiento que tienen los operadores sobre las pólizas de los seguros contratados, resalta que el 69 % desconoce si la cobertura cubre el ingreso a una rampa de emergencia, mientras que el 24 % tiene la certeza de que si cubre y el 8 % sabe que su póliza no cubre estos eventos.

La encuesta realizada por el IMT, ofreció un espacio a los conductores para que manifestaran comentarios abiertos sobre recomendaciones u observaciones para las rampas de emergencia. Sus contribuciones fueron agrupadas en las siguientes categorías:

- Mejorar señalamiento (15)
- Mejorar mantenimiento (14)
- Difundir información acerca de las rampas y capacitación (7)
- Que sean gratuitas (7)
- Que no sean tan cortas (4)
- Más rampas (4)
- Evitar abusos policiacos (1)
- Mejorar maniobras de rescate (1)

Por otro lado, uno de los mayores inconvenientes para los gestores de la infraestructura reside en la asignación de recursos para el mantenimiento y conservación. Cada uno de los elementos que componen una rampa de emergencia demanda en diferente medida recursos de mantenimiento, éstos fueron enlistados como:

- a) Repintado del señalamiento horizontal, así como limpieza y reposición de señalamiento vertical,
- b) Mantenimiento a cámaras de circuito cerrado
- c) Limpieza y mantenimiento al sistema de iluminación
- d) Reacomodo y esponjado (aflojado) del material de la cama de frenado
- e) Reemplazo del material de la cama de frenado
- f) Mantenimiento al camino de servicio
- g) Mantenimiento al sistema de drenaje y subdrenaje
- h) Mantenimiento a los macizos de anclaje.

Por ello, el IMT realizó encuestas a concesionarias, centros estatales de la SICT, a Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE) entre otros; dando un total de 32 participantes distribuidos de la siguiente manera:

- 11 correspondientes a CAPUFE
- 12 de diversos Centros Estatales de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT).
- 7 de concesionarios privados.
- 2 de otros servidores públicos que no necesariamente tienen a su cargo este tipo de infraestructura, pero que están involucrados con el tema.

Entre los resultados destacables, se tienen los siguientes:

- Respecto al repintado del señalamiento horizontal, de manera general el 28°% indicó que lleva a cabo la actividad cada seis meses, el 34 % cada doce meses, el 28 % declaró que pasan más de 12 meses y el 10 % desconoce la periodicidad.
- Para el mantenimiento del señalamiento vertical, se pueden llevar a cabo labores de limpieza o reposición, el 29 % lo hace con una frecuencia de hasta seis meses y en el 71% de los casos este lapso puede ser de 12 meses o superior
- El reacomodo (aflojado) del material granular, alrededor del 50 % de los gestores de las concesionarias y de CAPUFE respondieron que esta actividad se efectúa con una frecuencia máxima de seis meses y para el 83 % de los gestores de la SICT este lapso se incrementa a un año o más. Este dato no contempla el reacomodo del material cuando un vehículo ingresa a la rampa de emergencia para frenado.
- En relación con el camino de servicio y descartando aquellos gestores que ignoran la periodicidad del mantenimiento, el 61 % declaró que se hacen labores de conservación por lo menos cada año.
- Para el mantenimiento en las obras de drenaje y subdrenaje, el 68 % de los respondientes que indicaron una periodicidad señalan lapsos de tiempo que son de un año o mayor.
- Finalmente, en esta sección el 56 % de los respondientes señala que desconoce la frecuencia con la que se llevan a cabo labores de mantenimiento de los macizos de anclaje.

De esta misma publicación por parte del IMT, se encontró además un hallazgo un tanto particular y recurrente, esto no significa que su uso sea adecuado ya que impacta directamente a la operación de las rampas de emergencia; el uso de surcos longitudinales, esta práctica consiste en la formación de surcos dispuestos de manera longitudinal a todo lo largo de la cama de frenado. Según lo expuesto por algunos encargados de dichos dispositivos, esta práctica ha dado buenos resultados, pues cuando no los colocan de esta manera la longitud de la cama de frenado suele ser insuficiente. Sin embargo, el IMT no recomienda la formación de surcos longitudinales debido a que estos pueden desestabilizar la entrada de vehículos que no sean muy pesados, obsérvese el ejemplo mostrado en la Imagen 19 e Imagen 20.

Cuando se realizan estos arreglos del material en la cama de frenado, es posible que las llantas de un lado del vehículo coincidan con la parte superior del surco y las llantas del lado opuesto con la parte baja de éste, lo que podría producir su vuelco cuando no lleva mucho peso para contrarrestar este efecto; esta situación se vuelve crítica considerando que los vehículos que entran a las rampas de emergencia lo suelen hacer a altas velocidades, donde cualquier tipo de acción desestabilizadora pone en gran peligro la integridad del vehículo y por ende la de sus ocupantes y mercancías transportadas



Imagen 19. Rampa de emergencia para frenado ubicada en el Libramiento Norte de la CDMX con surcos longitudinales.

El aporte en el frenado del vehículo al formar estos surcos longitudinales con el material de la cama de frenado se puede explicar por el efecto de “atasque” que producen, debido a la mayor área de contacto de los neumáticos con el material que forma el surco. Además, su formación implica que el material sea “aflojado”, lo cual es un factor fundamental para que el vehículo sea atrapado dentro del material de la cama, ya que se evita la compactación y trabazón entre las partículas del material.



Imagen 20. Vehículo volcado en la cama de frenado con surcos longitudinales por elsoldeorizaba.com.mx

Este diseño de surcos no se encuentra establecido en ninguna normativa, por lo que algunas de las rampas de emergencia para frenado siguen sin un correcto diseño a pesar de ya haber sido publicada la NOM-036-SCT2-2016. En México aún no se cuentan con las herramientas legales para sancionar a aquellas personas que incumplan con lo establecido en las normas; sin embargo, no es necesario de sanciones si desde la etapa de planeación se tiene como una prioridad la seguridad del usuario.

El diseño y construcción de la rampa de emergencia para frenado debe ser supervisada por el mismo proyectista para que durante la construcción se siga al pie de la letra las especificaciones plasmadas en el proyecto, si desde un principio se tienen errores en el proyecto del dispositivo, estos se verán mayormente reflejados durante su construcción, debiéndose corregir en esta etapa para evitar futuras tragedias durante su operación, y que a su vez generará mayores gastos de reconstrucción para los concesionarios de estos dispositivos; aún se requieren mayores acciones en materia jurídica para que la normativa sancione alguna falta u omisión por parte de proyectistas durante la etapa de planeación o construcción de estos dispositivos que pueden salvar nuestras vidas en algún momento; asimismo el mantenimiento periódico es de vital importancia para que una vez construida la rampa de emergencia para frenado se asegure que el funcionamiento sea seguro para todo tipo de usuario de este dispositivo, mantener en buenas condiciones el señalamiento, así como los elementos que complementan el funcionamiento de las rampas de emergencia, como es el caso del sistema de subdrenaje, macizos de anclaje, sistemas de iluminación y sistemas de monitoreo durante las 24 horas del día y siete días a la semana.

Capítulo V: ESTUDIO DE CASO

El Tramo en estudio se encuentra ubicado en dirección hacia Toluca, en las coordenadas geográficas siguientes: Latitud 19.295689 y longitud -99.4199469. El tramo de interés será 5 kilómetros previos al acceso a la rampa construida en 2012, siendo el cadenamiento 35+000 al 40+000 de la carretera con las coordenadas geográficas siguientes: Inicio (Lat: 19.3011014, Long: -99.3771361) y Fin (Lat: 19.2943563, Long: -99.4225165); El tramo se encuentra con una pendiente promedio descendente aproximada al 6%, siendo está el límite de la pendiente máxima para una carretera Tipo ET que se encuentra en una zona montañosa de acuerdo a la Tabla 004-2 contenida en el *Normas de Servicios Técnicos, Proyecto Geométrico* publicado en el año 1984 por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. La altura máxima sobre el nivel del mar es alcanzada en el kilómetro 36+800 con 3007 m.s.n.m.

La carretera atraviesa la Sierra de las Cruces o Sierra del Monte de las Cruces que forma parte del Eje Volcánico Transversal, en la zona concurren tres de las cuencas hidrológicas principales siendo estas el Río Lerma, Valle de México y el Río Balsas. La Sierra de las Cruces se forma sobre la base de ocho estratovolcanes traslapados siendo estos los siguientes:

1. Zempoala
2. La corona
3. San Miguel
4. Salazar
5. Chimalpa
6. Iturbide
7. La Bufa
8. La Catedral

En particular para el tramo en estudio, la carretera está rodeada de formaciones geológicas siendo estas las siguientes:

- Cerro Las Gallinas
- Cerro Las Palmas
- Cerro El Molcajete
- Cerro El Fresno
- Monte de las Cruces

La geomorfología está caracterizada por zonas planas, laderas abruptas, lomeríos y mesetas; la actividad volcánica ocurrida a lo largo de los años produjo en gran parte de la región una gran cantidad de material piroclástico que posteriormente fue formando estratos de suelo con rocas ígneas: obsérvese en la Imagen 21 el relieve de la región, se puede apreciar que es una región

accidentada al encontrarse dentro del Eje Neovolcánico, el cual es una formación montañosa que se extiende desde el Océano Pacífico hasta el Golfo de México .

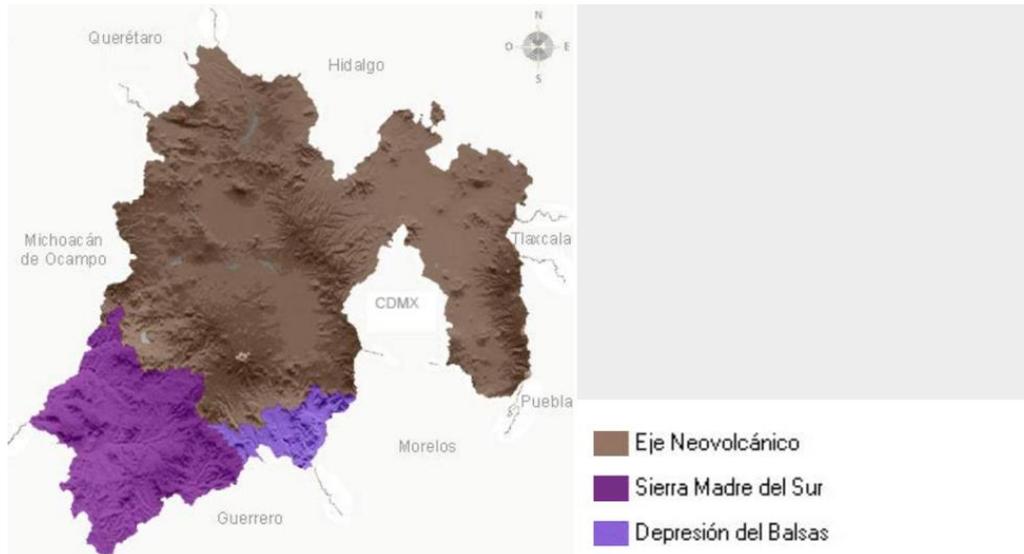


Imagen 21. Relieve terrestre de la zona donde se encuentra la rampa de emergencia para frenado por INEGI.

Con relación a la hidrología, el tramo de la carretera se localiza en la región No. 12 Lerma – Chapala – Santiago, que se integra a la cuenca alta del río Lerma, dentro de la subcuenca No. 3 denominada corriente Arroyo Salazar. En la zona de La Marquesa existen manantiales que derivan de los montes de los cuerpos superficiales como el río Ocoyoacac, Chichipicas y El Muerto. Además, existen numerosos pozos que forman parte del sistema Lerma, concesionados por el Gobierno de la Ciudad de México y que bastecen de agua potable a la ciudad desde 1951, en la Imagen 22 podemos apreciar algunos sitios de interés, para nuestro caso de estudio marcado en un recuadro amarillo, tenemos varios sitios donde se tienen corrientes perenes, acueductos y canales al norte de la actual carretera.

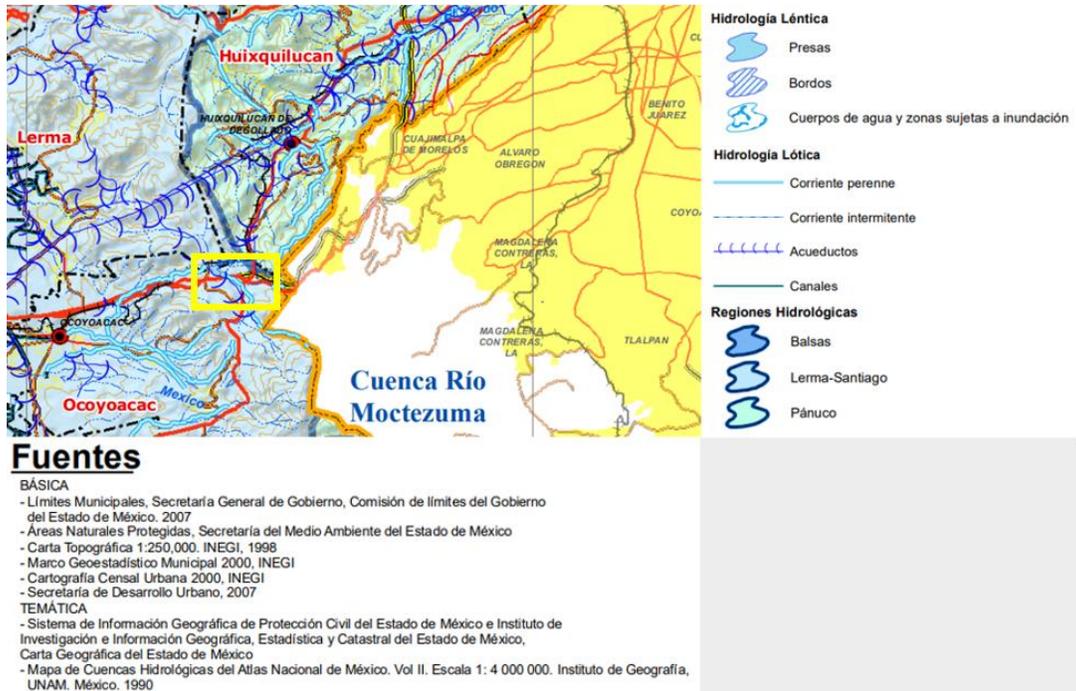


Imagen 22. Hidrología de la zona donde se encuentra la rampa de emergencia para frenado por INEGI,

El clima predominante en la región es clima templado subhúmedo y clima semifrío, como puede observarse en la Imagen 23; en ambos casos estos climas presentan lluvias que se intensifican en verano, siendo los meses de julio, agosto y septiembre los de mayor intensidad; con temperaturas máximas de 30 °C y mínimas de -7°C, registrando una temperatura promedio anual de 18 °C.

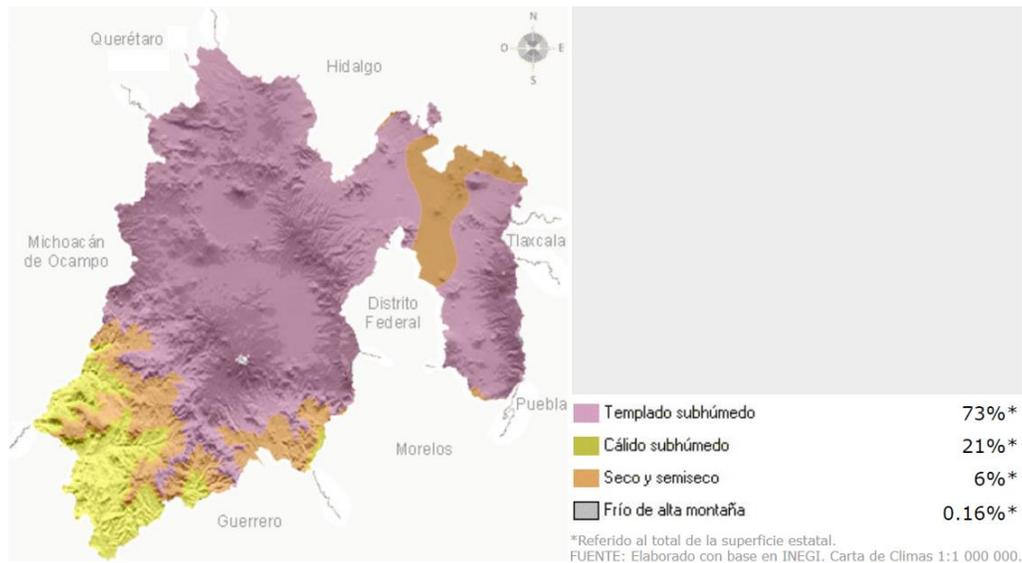


Imagen 23. Clima de la zona donde se encuentra la rampa de emergencia para frenado por INEGI,

Con relación al uso de suelo actual, destacan las actividades agropecuarias, que se desarrollan en una buena parte de la superficie, destinada principalmente al cultivo temporal de maíz y otros productos como trigo, avena y cebada forrajera. Por otro lado, el uso forestal corresponde a

6,245.31 hectáreas, las cuales se dividen en áreas protegidas y no protegidas, conformado por bosques de coníferas, mientras que el uso urbano asciende a 445.17 hectáreas y corresponde a la cabecera municipal y las localidades de San Jerónimo Acazulco, San Pedro Atlapulco, San Pedro Cholula, el Pedregal de Guadalupe Hidalgo y La Marquesa, así como otras localidades menores ubicadas al margen de la carretera federal.

La mayor parte del área protegida está cubierta por bosque de oyamel, así como pino en las partes más altas y pastizales amacollados. Respecto a la fauna, destacan los anfibios y reptiles como salamandra, lagartija espinosa y víbora de cascabel. Además, se registra la presencia de aves como codorniz coluda neovolcánica, búho cornudo, chipe rojo y chara crestada, así como mamíferos tales como el cacomixtle, coyote, gato montés y venado de cola blanca.

La carretera es de las principales salidas de la ciudad, ya que conecta la cabecera municipal de Toluca con la región poniente de la Ciudad de México, en este tramo se encuentra la zona turística del Parque Nacional Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla, y en kilómetros previos los accesos al Parque Nacional del Desierto de los Leones, los cuales se encuentran rodeados con actividades recreativas al aire libre y comercio, siendo de los parques más visitados localizado en la gran extensión de la Sierra del Ajusco o sierra de las Cruces.

La carretera México – Toluca tiene una longitud total de 66 kilómetros y pertenece a la Ruta 15, ruta que inicia en Ciudad de México y termina en Nogales, Sonora, con la frontera con los Estados Unidos Americanos siendo una de las rutas más importantes del país; para el caso de estudio nos situaremos en el subtramo que va de los Limites de Estado entre la Ciudad de México y el Estado México ubicado en el kilómetro 33+440 al ubicado en el X.C Amomolulco – Santiago Tianguistenco en el kilómetro 47+260. La longitud del subtramo es de casi 14 kilómetros, el punto más alto se encuentra ubicado en el km 34+200 con una altura de 3137 m.s.n.m., posteriormente a este punto se tiene un descenso casi continuo durante al menos 13 km, el tramo comprendido entre el km 35+740 al km 36+260 mantiene una recta constante sin pendiente positivo o negativa (0%) y a partir del km 36+260 al km 36+740 se tiene una pendiente ascendente del 4% aproximadamente. Obsérvese la Imagen 24, donde es posible apreciar la pendiente descendente del tramo en estudio, este perfil no es de carácter definitivo y no es válido para presentarse como parte de un proyecto ejecutivo.



Imagen 24. Perfil longitudinal del tramo Lim. Edos. Term. CDMX Ppia. Méx. - X.C Amomolulco – Santiago Tianguistenco (km 34+200 – 47+260), obtenido a través de Google Earth.

En el tramo de estudio, se observa una sección transversal de dos cuerpos separados, la separación se debe a que el trazo de la autopista federal México – Toluca atraviesa por el centro de la carretera, estos cuerpos cuentan con las siguientes características:

- Ancho de corona de 12 m, de los cuales: 0.5 m de acotamiento interno o izquierdo, 3 carriles con un ancho de 3.5 m y un acotamiento externo de hasta 1 m, sin embargo, la sección transversal puede variar kilómetros adelante dadas las características geométricas de las curvas circulares trazadas, los accesos de la autopista con la carretera y zonas urbanas que atraviesa el trazo de la carretera.
- Segmentos con taludes de corte, sin malla antiderrumbe.
- Segmentos con taludes en terraplén, protegidos con barrera metálica lateral.
- Tramos con barrera central.
- Pendiente transversal en la calzada.

Como se aprecia en la Imagen 25, la carretera tiene una configuración de 3 carriles de circulación con un ancho de carriles de aproximadamente tres punto cinco metros (3.5 m), ancho suficiente para el tránsito de vehículos pesados tipo T3-S2-R4, el cual es el vehículo de diseño con las mayores dimensiones posibles hasta la actualidad.



Imagen 25. Sección transversal de la carretera México – Toluca, km 37+500

No se cuenta con la información respecto al derecho de vía de la carretera, y dadas las características de la carretera y del tramo donde se tienen los dos cuerpos separados por una autopista, es complicado determinar el verdadero eje de proyecto para cada cuerpo de la carretera; recordemos que el derecho de vía es un bien del dominio público de la Federación constituido por la franja de terreno de anchura variable, y cuyas dimensiones fija la Secretaría, el cual se requiere para la construcción, conservación, ampliación, protección y en general para el uso adecuado de una vía de comunicación carretera y sus servicios auxiliares; no obstante, de acuerdo a la clasificación de la carretera siendo una carretera tipo A4S de cuerpos separados, se medirá a partir del eje de cada uno de ellos y deberán contar con al menos un derecho de vía de 60 m y máximo

de 100 m; dado lo anterior, en caso de contar con el derecho de vía señalado en el MPGC, en la carretera se observan accesos a comercios aledaños donde posiblemente se tenga invadido el derecho de vía.

El alineamiento horizontal de la carretera resulta de interés para el tema de estudio, ya que la carretera fue diseñada para cumplir con una clasificación A4S y una velocidad de proyecto de al menos 80 km/h, todo ello bajo una normativa que hoy en día se considera obsoleta y que contemplaba vehículos de diseño que ya no se encuentran vigentes; esos vehículos no contaban con las ayudas para la conducción como los que hoy en día cuenta nuestro parque vehicular, y aunque la tecnología en los vehículos ha mejorado bastante para garantizar la seguridad en la conducción, no ha sido suficiente para evitar los siniestros de tránsito en este tramo de la carretera, aún cuando se han mejorado algunas de las condiciones geométricas y de operación conforme a los actuales manuales de diseño geométrico, por esta razón se considera importante analizar el alineamiento horizontal previo a la rampa de emergencia para verificar las siguientes dos interrogantes:

1. ¿El alineamiento horizontal cumple desde su diseño con las *Normas de Servicios Técnicos, Proyecto Geométrico* publicadas por la DGST en el año de 1984?
2. En caso de fallas en el sistema de frenado de un vehículo, ¿El alineamiento horizontal permitirá que el vehículo pueda ingresar a la rampa sin que previamente exista alguna característica geométrica desfavorable que provoque inevitablemente su salida del camino?

El tramo previo a la entrada de la rampa de emergencia para frenado contiene en su trazo 7 curvas horizontales, una zona de curvas que inicia en el km 37+762 y que termina con 4 curvas continuas en el km 39+102, a lo largo del tramo se tiene una pendiente descendente sostenida del 6% en promedio y se observan comercios aledaños al derecho de vía que obstruyen la ampliación de la calzada para el mejoramiento del alineamiento horizontal. A continuación, se describirán las características generales de las curvas contenidas en el tramo previo a la entrada de la rampa de emergencia para frenado ubicada en el km 39+800 para su análisis particular para cada caso:



Imagen 26. Curva PI-1 simple izquierda ubicada en el km 36+120.14.

La primera curva mostrada en la Imagen 26 (PI-1) ubicada en el km 36+120.14, con su Punto de comienzo de la curva circular (PC) en el km 36+046.73 y su Punto de término de la curva circular (PT) en el km 36+193.46; es una Curva simple - izquierda con una longitud de 146.73 m y radio de curva de 1730.74 m, su grado de curvatura es de $0^{\circ}39'44''$ por lo que se considera adecuada para una carretera clasificada como A4S y es transitable a una velocidad de proyecto de 80 km/h, con la posibilidad de aumentar la velocidad hasta los 110 km/h sin ningún riesgo para el usuario. La curva horizontal se encuentra ubicada en toda su longitud dentro de una pendiente ascendente de aproximadamente 1% y no requiere de una señalización preventiva, aunque fuera del derecho de vía se encuentran comercios en los que se incorporan y desincorporan vehículos a la carretera, por lo que se requieren carriles de cambio de velocidad para evitar incorporaciones bruscas de los usuarios a las instalaciones adyacentes o a la carretera.

El control de la velocidad de operación entre la curva PI-1 y PI-2 es fundamental, ya que durante este segmento, el alineamiento vertical, horizontal y la sección transversal da una apariencia de seguridad al conductor; considerando lo anterior, aumenta la probabilidad que un usuario que desconoce la carretera aumente su velocidad y supere la restringida, situación que se agrava manteniendo la velocidad hasta la llegada a la zona de curvas, y con la pendiente descendente sostenida a partir del inicio de la curva PI-2, lo que dificulta la detención del vehículo y ejerce un mayor estrés a los sistemas de frenado; en el caso de un conductor inexperto de un vehículo ligero, es probable que una vez llegando a la zona de curvas el usuario disminuya su velocidad de manera repentina dentro de la curva, acción que producirá una salida del camino, pero por otro lado, un conductor experimentado disminuirá repentinamente su velocidad en las tangente previa a la segunda curva, lo que forzará a los sistemas de frenado y disminuirá su efectividad durante el tránsito en la zona de curvas y con pendiente descendente, siendo necesario utilizar el sistema de frenado continuamente durante este tramo; en el mejor de los casos, el usuario saldrá sin contratiempos de las curvas, pero en otros casos deberá realizar maniobras para evitar la salida del camino o un choque con otros vehículos. Para los vehículos de carga, la situación no mejora, ya que el peso propio de la carga que se transporta como del vehículo influye para la aceleración progresiva durante el descenso, y que estos mismos elementos complican la detención y control de la velocidad del vehículo, siendo más susceptibles al desvanecimiento de la potencia de frenado debido al calor generado en el sistema.

Por lo anterior, es importante informar al usuario oportunamente de las condiciones del camino en este segmento de la carretera para evitar el aumento de la velocidad.



Imagen 27. Curva PI-2 Simple - derecha ubicada en el km 37+034.89.

En la imagen 27, donde se muestra la segunda curva (PI-2) ubicada en el km 37+034.89, tiene su (PC) en el km 36+971.93 y el (PT) en el km 37+096.98; es una curva simple - derecha con una longitud de 125.044 m y radio de curva de 433.86 m, su grado de curvatura es de $2^{\circ}38'28''$, de modo que la curva simple se considera inadecuada para una carretera A4S que fue diseñada para una velocidad de proyecto de 80 km/h, la curva debía considerar espirales de transición para un correcto cambio del bombeo de la carretera a la sobrelevación en la curva; además la curva se encuentra contenida en toda su longitud en una pendiente descendente del 3%, por lo que se debió considerar la aceleración del vehículo provocada por su propio peso y la dificultad de mantener el vehículo a la velocidad de proyecto para haber sido diseñada con una velocidad de proyecto de 90 km/h como mínimo. La velocidad de operación señalada en las Normas de Proyecto Geométrico para un tránsito seguro en la curva debe ser menor a los 70 km/h y debería considerar la instalación de indicadores de curvas cerradas (OD-12) ya que la velocidad de operación del tramo anterior puede ser de hasta 110 km/h y debe disminuirse hasta los 70 km/h, asimismo no requiere estrictamente una señal preventiva de curva (SP-6) por el grado de curvatura con el que cuenta, pero si debería considerar prevenir al usuario de la pendiente descendente próxima para la disminución gradual y control de su velocidad previo a la entrada a la curva y pendiente descendente.



Imagen 28. Curva PI-3 Simple - izquierda ubicada en el km 37+851.45.

La Imagen 28, muestra la tercera curva (PI-3) ubicada en el km 37+851.45, tiene su (PC) en el km 37+761.72 y el (PT) en el km 37+932.03; es una curva simple - izquierda con una longitud de 170.312 m y radio de curva de 218.79 m, su grado de curvatura es de $5^{\circ}14'15''$; la curva para cumplir con la normativa de 1984 debía ser diseñada como una curva con espirales de transición y aún con ello debería transitarse como máximo a 70 km/h por seguridad, siendo esta curva una de las más cerradas, toda la longitud de la curva horizontal se encuentra dentro de una pendiente descendente del 6% por lo que es importante la instalación del señalamiento vertical y horizontal para el control de la velocidad en el tramo, ya que a partir de este punto se encuentra la zona de curvas. Adicionalmente, previo a la curva se tiene un retorno con dirección a la CDMX y fuera del derecho de vía se encuentran comercios, por lo que este segmento es peligroso para estos establecimientos, así como para sus visitantes debido a las altas velocidades de operación con las que circulan los vehículos, por lo que se requieren de diversas obras para el mejoramiento de la seguridad vial en este sitio.



Imagen 29. Curva PI-4 Simple - derecha ubicada en el km 38+230.76.

La cuarta curva (PI-4), mostrada en la Imagen 29, se encuentra ubicada en el km 38+230.76, tiene su (PC) en el km 38+002.19 y el (PT) en el km 38+403.09; es una curva simple - derecha con una longitud de 400.908 m y radio de curva de 334.05 m, su grado de curvatura es de $3^{\circ}25'50''$; se encuentra a 70.2 m de distancia del término de la curva PI-3, la curva PI-4 para cumplir con los criterios establecidos del proyecto debió ser diseñada como una curva con espirales de transición para cumplir con la velocidad de proyecto de 80 km/h, sin embargo el diseño existente de la curva cumple para el tránsito seguro a una velocidad máxima de 60 km/h, de la misma manera que la curva PI-3, la curva PI-4 se encuentra dentro de una pendiente descendente del 6% y debido a la corta distancia entre ambas curvas, el cambio de dirección es abrupto para aquellos usuarios que transiten a una velocidad mayor a la restringida, esta condición geométrica complica la instalación de sistemas para la reducción de la velocidad, por lo que la prevención al usuario deberá realizarse

antes de la curva PI-3 como ha sido mencionado anteriormente, asimismo, la visión del término de esta curva se ve obstaculizada por los árboles, maleza y anuncios espectaculares que se encuentra en las áreas externas del camino, esto puede afectar al tránsito en casos donde existan vehículos detenidos más adelante, así como para la visibilidad de los usuarios para la detención oportuna cuando se efectúen las salidas y entradas de vehículos a las instalaciones adyacentes a la carretera donde, además, el acceso se encuentra dentro de la misma curva horizontal y no cuenta con las señales preventivas adecuadas para señalar la entrada y salida de vehículos a estas instalaciones



Imagen 30. Curva PI-5 Simple - izquierda ubicada en el km 38+708.18

La Imagen 30 muestra la quinta curva (PI-5), ubicada en el km 38+708.18 tiene su (PC) en el km 38+566.34 y el (PT) en el km 38+809.16; es una curva simple - izquierda con una longitud de 242.82 m y radio de curva de 187.369 m, su grado de curvatura es de $6^{\circ}6'57''$, el más alto de todo el conjunto de curvas en el tramo; se encuentra a 163.25 m de distancia del término de la curva PI-4, y al igual que la curva PI-3, la curva PI-5 para cumplir con las Normas para el Proyecto Geométrico tendría que haber sido diseñada estrictamente con espirales de transición, toda la longitud de la curva horizontal se encuentra dentro de la misma pendiente descendente del 5%; de acuerdo al diseño existente de esta curva, la geometría cumple para un tipo de camino A2 y una velocidad de diseño de 50 km/h, por lo cual no es congruente la velocidad de diseño con la velocidad restringida en el tramo. Sin embargo, la longitud entre la curva PI-4 y PI-5 permite la instalación de señalamiento para la reducción gradual a la velocidad adecuada, así como para prevenir al usuario de la salida y entrada de vehículos a los comercios adyacentes a este tramo de la carretera, mismos que deberían estar prohibidos debido a que se encuentran en curva horizontal y ponen en riesgo a los usuarios que transitan la carretera.



Imagen 31. Curva PI-6 Simple - derecha ubicada en el km 38+708.18

La sexta curva (PI-6), que se muestra en la Imagen 31, se ubica en el km 39+035.35 y tiene su (PC) en el km 38+962.65 y el (PT) en el km 39+102.05; es una curva simple - derecha con una longitud de 139.40 m y radio de curva de 198.861 m, su grado de curvatura es de $5^{\circ}45'45''$; la curva PI-6 está separada de la curva PI-5 por una tangente de 153.5 m de longitud y la geometría de la curva no cumple con las normas de diseño establecidas en las Normas de Proyecto Geométrico de 1984, ya que esta curva debía ser diseñada con espirales de transición para el cambio gradual en la sobrelevación con la curva previa, además, toda la longitud de la curva horizontal se encuentra dentro una pendiente descendente de aproximadamente 6%. La curva existente cumple para un diseño de una carretera tipo A2 y una velocidad de proyecto de 50 km/h, por lo que la velocidad restringida es incongruente con la velocidad de proyecto, por lo anterior, se requiere de la instalación de señalamiento para la reducción de la velocidad a lo largo de la tangente previa a esta curva. Asimismo, se tienen instalaciones adyacentes a la carretera donde existe la posibilidad de que vehículos ligeros y pesados hagan detenciones momentáneas y posteriormente se integren nuevamente al tránsito, generando posibles casos de colisiones por alcance en caso de la circulación de un vehículo sin frenos.

Del tramo constituido por las curvas PI-3, PI-4, PI-5 y PI-6, desde el km 37+761.72 y que termina en el km 39+102.05, integrado de las 4 curvas simples antes referidas, todas diseñadas como curvas simples y con radios de curvatura en los que se requieren espirales de transición para cumplir conforme a la normativa aplicable con un tipo de camino A4S y una velocidad de proyecto de 80 km/h; las curvas existentes cumplen para un camino tipo A2 y una velocidad de proyecto de 50 km/h; la separación entre curvas es menor a 200 m y el tramo se considera como una zona de

curvas, ya que de acuerdo al Manual de Señalización de calles y carreteras, es “un segmento de la carretera que contiene tres o más curvas inversas consecutivas, existiendo una distancia entre el fin de una y el inicio de la siguiente menor a 200 m” este trazo disminuye el estándar de proyecto, aumentando la exposición al riesgo de colisión a los usuarios, además el riesgo se incrementa con los radios de curvatura reducidos y una pendiente descendente continua del 6%, lo anterior basándose en la publicación técnica no. 217 *Algunas consideraciones de seguridad para el proyecto geométrico de carreteras* realizada por el IMT, la cual menciona hallazgos relacionados con los radios de curvatura mayores a 500 m los cuales no generan problemas de seguridad, pero que curvas con radios menores a ese valor están asociadas con un incremento abrupto en el riesgo, asimismo enfatiza los problemas relacionados con la ausencia de curvas de transición ya que afecta, la fricción desarrollada entre la llanta y la superficie así como a la trayectoria a través de la curva y que estos problemas son particularmente críticos para los camiones de carga articulados, donde se tiene una mayor probabilidad de invasión del carril adyacente o el acotamiento, de manera que es necesario tomar medidas serias para alertar a los usuarios de estas condiciones en el tramo, por ejemplo, a través del uso extensivo de señalamiento preventivo y otros elementos de delineación, así como el retiro de aquellos elementos que afectan las percepciones visuales de los conductores.



Imagen 32. Curva PI-7 Simple - izquierda ubicada en el km 39+607.

La séptima y última curva previa a la rampa de emergencia para frenado (PI-7) y que puede apreciarse en la Imagen 32, se encuentra ubicada en el km 39+607 tiene su (PC) en el km 39+558.22 y el (PT) en el km 39+654.38; es una curva simple - izquierda con una longitud de 96.16 m y radio de curva de 231.651 m, su grado de curvatura es de $4^{\circ}56'48''$. Toda la longitud de la curva se encuentra dentro de la pendiente descendente sostenida del 6%; la curva existente cumple con el diseño para un camino tipo A2 y velocidad de proyecto de 50 km/h. Fuera del derecho de vía se establecieron comercios que no cuentan con los carriles para el cambio de velocidad, ni con el señalamiento adecuado para advertir la entrada y salida de vehículos en la carretera, de modo que

expone a los usuarios a situaciones que ponen en riesgo su integridad y a realizar maniobras inadecuadas para integrarse al tránsito rápidamente, lo anterior considerando que los vehículos que transitan en este sector viajan a una velocidad superior a los 70 km/h debido a la aceleración propia del vehículo por acción de la gravedad en una tangente de 400 m y pendiente descendente del 6%, así como por el inexistente control de la velocidad.



Imagen 33. Acceso a rampa de emergencia para frenado km 39+800

Posterior a esta curva se encuentra una tangente con una longitud de 750 m aproximadamente, y donde se ubica en el km 39+800 el acceso a la rampa de emergencia para frenado, este tramo se encuentra con una pendiente descendente del 6% que se extiende más allá de la rampa; recordemos que para la reubicación de la rampa se ajustó su longitud en función de la ubicación del acceso a la rampa construida en la autopista de cuota (Obsérvese Imagen 33).

De las curvas previas a la rampa de emergencia para frenado, 6 de las 7 curvas horizontales no cumplen con el diseño geométrico necesario de acuerdo al tipo de camino y velocidad de proyecto planteado (Obsérvese la Tabla. 5), de acuerdo a las **Normas de Servicios Técnicos, Proyecto Geométrico** publicada en el año de 1984, estas 6 curvas cumplen con el criterio de diseño de un camino Tipo A2 para una velocidad de proyecto de 50 a 70 km/h; presuponiendo que para este tramo de la carretera se contempló un criterio de diseño con base a un camino tipo A2 debido a las condiciones del relieve geográfico tan accidentado, la velocidad restringida a lo largo del tramo debe ser de 60 km/h para ser congruente a la limitaciones de la geometría, sin embargo se permite que el tránsito circule hasta una velocidad de 80 km/h, la cual excede el 60% de la velocidad máxima permitida de acuerdo al diseño geométrico, de acuerdo a lo anteriormente señalado, el señalamiento vertical instalado no cumple con su función primordial la cual es señalar la existencia de limitaciones físicas o prohibiciones reglamentarias que restringen el uso de la vialidad y promueve el exceso de velocidad en zonas donde deberá existir un mayor control en las velocidades de operación.

Tabla 5.

Características de las curvas PI-1 a PI-7, previas a la rampa.

Tipo de Camino: A4S		Velocidad de proyecto: 80km/h						
Tabla resumen								
Nombre de Curva	Grado de curvatura existente	Grado de curvatura máximo de acuerdo al tipo de curva, tipo de camino y a la velocidad de proyecto	Tipo de curva existente	Tipo de curva necesaria	Velocidad restringida existente	Velocidad restringida necesaria de acuerdo al tipo de curva existente	¿Cumple con las Normas de Servicio Técnicos de 1984 de acuerdo al tipo de camino y velocidad de proyecto?	Tipo de camino y velocidad de proyecto con el que cumple el tipo de curva y su grado de curvatura existente.
PI-1	0°39'44"	2°30' (Simple) 5°30' (Espirales de Transición)	Simple	Simple	80	110	Si	N/A
PI-2	2°38'28"	2°30' (Simple) 5°30' (Espirales de Transición)	Simple	Con espirales de transición	80	-	No	Tipo de camino: A2 Velocidad de proyecto: 70 km/h
PI-3	5°14'15"	2°30' (Simple) 5°30' (Espirales de Transición)	Simple	Con espirales de transición	80	-	No	Tipo de camino: A2 Velocidad de proyecto: 50 km/h
PI-4	3°25'50"	2°30' (Simple) 5°30' (Espirales de Transición)	Simple	Con espirales de transición	80	-	No	Tipo de camino: A2 Velocidad de proyecto: 60 km/h
PI-5	6°6'57"	2°30' (Simple) 5°30' (Espirales de Transición)	Simple	Con espirales de transición	80	-	No	Tipo de camino: A2 Velocidad de proyecto: 50 km/h
PI-6	5°45'45"	2°30' (Simple) 5°30' (Espirales de Transición)	Simple	Con espirales de transición	80	-	No	Tipo de camino: A2 Velocidad de proyecto: 50 km/h
PI-7	4°56'48"	2°30' (Simple) 5°30' (Espirales de Transición)	Simple	Con espirales de transición	80	-	No	Tipo de camino: A2 Velocidad de proyecto: 50 km/h

Nota. Elaboración propia.

Respondiendo a las preguntas anteriormente planteadas y con base al análisis realizado en el trazo previo al acceso de la rampa de emergencia para frenado se tiene lo siguiente:

- ¿El alineamiento horizontal cumple desde su diseño con las **Normas de Servicios Técnicos, Proyecto Geométrico** publicadas por la DGST en el año de 1984? No cumple con lo establecido en las **Normas de Servicios Técnicos, Proyecto Geométrico** de 1984 y mucho menos con la normativa ni recomendaciones actuales con respecto a proyecto geométrico de carreteras, seis de las siete curvas construidas no cumplen con la velocidad de proyecto esperada, por lo cual complica el tránsito de los vehículos de mayores dimensiones, siendo los T3-S2-R4 los vigentes actualmente. Asimismo, se carece de los criterios de seguridad con respecto a la combinación del alineamiento vertical y horizontal, esto es: se tiene una pendiente descendente prolongada durante más de 10 km en la carretera y curvas con radios de curvatura bastante cerrados para la velocidad de proyecto establecida, la cual se verá afectada por las condiciones adversas del relieve geográfico, recordemos que una de las recomendaciones en las **Normas de Servicios Técnicos, Proyecto Geométrico** de 1984 establece que: *“Un diseño apropiado es aquel que combina ambos alineamientos ofreciendo el máximo de seguridad, capacidad, facilidad y uniformidad en la operación, además de una apariencia agradable dentro de las restricciones impuestas por la topografía.”* por lo cual, siguiendo esa recomendación se debieron proyectar trazos más suaves en la zona de curvas, sacrificando el aspecto económico y priorizando la seguridad del usuario.
- En caso de fallas en el sistema de frenado de un vehículo, ¿El alineamiento horizontal permitirá que el vehículo pueda ingresar a la rampa sin que previamente exista alguna característica geométrica desfavorable que provoque inevitablemente su salida del camino?

No, el alineamiento horizontal está diseñado para que los vehículos deban controlar su velocidad previo al momento de entrar a la zona de curvas y posterior a la salida de cada una de ellas; la sección transversal de la carretera favorece a la disminución de la probabilidad de la salida de los vehículos pero aumenta la probabilidad de colisión con otros vehículos en tránsito, sin embargo, las probabilidades para ambos acontecimientos nunca serán cero, lo anterior será demostrado más adelante cuando se desglose la siniestralidad en el tramo, donde los tipos de siniestros que se presentan en mayor número suelen ser salidas del camino y colisión contra objeto fijo (barrera de orilla de corona).

Lo recomendado por Rafael Cal y Mayor y James Cárdenas Grisales en su libro *Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones 9na. Edición*, mencionan que: es adecuado mantener un valor constante de la velocidad al proyectar el tramo de una vía, sustentándolo con base a que el proyecto geométrico usa velocidades uniformes, de esta manera se estaría ligando estrechamente la velocidad y su variación con las características geométricas de la vía; por lo tanto, está sería una justificación para sostener una velocidad con base a las características geométricas, sin embargo, no se sustenta el mantener constante una velocidad de operación mayor a la permitida por la geometría de la vía, y mucho menos justificar esa velocidad con la atenuación de los errores de diseño a través de mejoras en otras características geométricas tales como la ampliación de la calzada y en algunos casos con el aumento de la sobreelevación de la calzada, siendo estos algunos de los elementos geométricos más sencillos de corregir y relativamente de bajo costo, algunos otros que pueden ser modificados pero con mayores costos de construcción son: el radio de curvatura, la pendiente máxima, la distancia de visibilidad, los anchos de acotamientos, las anchuras y alturas libres.

Lo anterior, resulta conveniente para aumentar el nivel de servicio de la carretera en un rango de tiempo a corto plazo, sin embargo, a largo plazo esta decisión no solventaría de manera integral los problemas de tránsito generados en el área, e implicaría que deban realizarse acciones para el mejoramiento operativo de la vialidad. Actualmente, la carretera se encuentra con las condiciones de flujo inestables en horas de alta demanda, lo que supone una disminución de la velocidad de recorrido y se presenten detenciones del tránsito a lo largo del tramo.

Así como la velocidad de operación es importante para el análisis de una vialidad, también lo son los volúmenes de tránsito, los cuales poseen características espaciales y temporales. Los estudios sobre volúmenes de tránsito son realizados con el propósito de obtener información relacionada con el movimiento de vehículos y/o personas sobre puntos o secciones específicas dentro de un sistema vial. Los datos de volúmenes de tránsito son expresados con respecto al tiempo, y de su conocimiento se hace posible el desarrollo de valores estimados razonables de la calidad del servicio prestado a los usuarios.

En ingeniería de tránsito, la medición básica más importante es el conteo o aforo, ya sea de vehículos o ciclistas, esto con el fin de obtener estimaciones de los siguientes parámetros:

- Volumen: Es el número de vehículos que pasan por un punto durante un tiempo específico.
- Tasa de Flujo: Es la frecuencia a la cual pasan los vehículos durante un tiempo específico menor a una hora, expresada como una tasa horaria equivalente.
- Demanda: Es el número de vehículos que desean viajar y pasan por un punto durante un tiempo específico. Donde existe congestión, la demanda es mayor que el volumen actual.
- Capacidad: Es el número máximo de vehículos que pueden pasar por un punto durante un tiempo específico. Es una característica del sistema vial, y representa su oferta.

Cuando la demanda es menor que la capacidad, el volumen es igual a la demanda, por lo que los conteos o aforos que se realizan, son mediciones de la demanda existente.

Igualmente, en los estudios de volúmenes de tránsito muchas veces es útil conocer la composición y variación de los distintos tipos de vehículos. La composición vehicular se mide en términos de porcentajes con respecto al volumen total.

De manera general, los datos sobre volúmenes de tránsito son ampliamente utilizados en los campos de la planeación, proyecto, ingeniería de tránsito, seguridad vial, investigación y usos comerciales; aunque estos deberán ser considerados como dinámicos, por lo que solamente son precisos para el periodo de duración de los aforos, sin embargo, debido a que sus variaciones son generalmente repetitivas, es válido considerarlos como representativos bajo condiciones cotidianas de operación y no existan factores externos que alteren los resultados de los aforos; para la realización de estos estudios, es fundamental conocer visualmente las variaciones periódicas de los volúmenes de tránsito dentro de las horas de máxima demanda, en las horas del día, en los días de la semana y en los meses del año.

Dada la importancia de estos estudios para la planeación de nuevas obras de infraestructura carretera, la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes para profundizar en el conocimiento del transporte carretero nacional, realiza actividades que incluyen la operación de un sistema de conteo vehicular, que permite conocer anualmente los volúmenes y la clasificación del tránsito que circula por la red Carretera; por lo tanto, los datos obtenidos por esa dependencia servirán de referencia para un análisis teórico del tramo en estudio.

De los datos viales registrados y publicados en el portal de la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST), se tiene que de la estación más próxima al inicio de la pendiente descendente de aforo se encuentra establecida en el km 33+980 de la carretera México – Toluca, tramo T. Der. Huixquilucan, donde se registró en el año 2021 un tránsito diario promedio anual (TDPA) de 29,735 vehículos considerando únicamente el sentido 1 de la carretera, siendo este sentido de circulación donde se ubica la rampa; la clasificación vehicular promedio en el punto de aforo es 92% de vehículos Ligeros (A), 1.4% de vehículos de pasajeros o autobuses (B) y 6.6% de tractocamiones o vehículos de carga (C); del registro histórico desde el año 2010 al año 2021 mostrado en la Tabla 6, es posible observar que la estación de aforo ha registrado volúmenes de tránsito que podrían considerarse relativamente constantes a lo largo del tiempo.

Tabla 6.*TDPA en el tramo de estudio, Datos Viales, DGST.*

Carretera México - Toluca, Ruta: 15, Tramo: T. Der. Huixquilucan - km 33+980						
Año	Sentido 1	Sentido 2	TDPA	Clasificación Vehicular en Sentido 1		
				A	B	C
2010	29135	28818	57953	78.4	6.2	15.4
2011	27686	25387	53073	87.4	2	10.6
2012	26833	26321	53154	86.1	1.6	12.3
2013	26649	27422	54071	83.7	1.4	14.9
2014	27705	25722	53427	85.9	1	13.1
2015	27546	25979	53525	82.7	3.3	14
2016	27511	26129	53640	85.9	1	13.1
2017	26197	27506	53703	87.7	1.7	10.6
2018	25183	26225	51408	87.7	1.7	10.6
2019	27360	27292	54652	88.2	1.3	10.5
2020	23768	20242	44010	91.4	1	7.6
2021	29735	24517	54252	92	1.4	6.6

Nota. Elaboración propia con base a la información publicada por la Dirección General de Servicios Técnicos.

Además, se observa en la Tabla 6, una disminución considerable en el porcentaje de vehículos de carga que circula en el tramo en los últimos años, este comportamiento puede deberse a las condiciones de salud pública que restringían algunas actividades económicas tales como el movimiento de carga; por lo anterior, los datos de los últimos dos años (2020 y 2021) no serán representativos para la obtención de la tasa de crecimiento. Por otra parte, también se observa que con la entrada en operación de la autopista México – Toluca, ruta MEX 015-D, desde el año 2015, el volumen de tránsito presentó una ligera disminución del tránsito que fue superada nuevamente para el año 2019, por lo que la construcción de rutas alternas no benefició en la operación de la vialidad libre y con el transcurso de los años llegaría pronto al límite de su capacidad.

Retomando nuevamente el término de la demanda de tránsito; esta se considera como una cantidad conocida en las fases de planeación, estudio, proyecto y operación de las vialidades, y la medida de la eficiencia con la que un sistema vial presta servicio a esta demanda establecida se le conoce como capacidad u oferta. Entiéndase capacidad de una vía como, el número máximo de vehículos que pueden circular por un camino durante un lapso de tiempo, en la mayoría de los análisis de capacidad es de 15 minutos, debido a que se considera que éste es el intervalo más corto durante el cual puede presentarse un flujo estable.

Para medir la calidad del flujo vehicular se utiliza el concepto de Nivel de Servicio, la cual es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, estas condiciones se describen en términos de factores tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de realizar maniobras, la comodidad, la convivencia y la seguridad vial.

Se han establecido seis niveles de servicio denominados: A, B, C, D, E y F, que van de las mejores condiciones al nivel con las peor, las medidas para definir estos niveles en carreteras son:

- **Nivel de Servicio “A”:** Corresponde a una condición de flujo libre, con volúmenes de tránsito bajos; la velocidad depende del deseo de los conductores dentro de los límites impuestos y bajo las condiciones físicas de la carretera.
- **Nivel de Servicio “B”:** Se considera como flujo estable, los conductores tienen una libertad razonable para elegir sus velocidades y el carril de operación.
- **Nivel de Servicio “C”:** El flujo es estable, los conductores perciben restricciones tanto para elegir su velocidad, como para efectuar maniobras de cambio de carril de rebase; se obtiene una velocidad de operación satisfactoria. Es deseable que este nivel de servicio sea el más desfavorable al que operen las vialidades.
- **Nivel de Servicio “D”:** Esta condición se aproxima al flujo inestable; la velocidad de operación aún es satisfactoria, pero resulta afectada por los cambios en las condiciones de operación. Los conductores tienen poca libertad de maniobra con la consecuente pérdida de comodidad.
- **Nivel de Servicio “E”:** En este nivel, los volúmenes de tránsito corresponden a la capacidad. El flujo es inestable y pueden ocurrir paradas de corta duración.
- **Nivel de Servicio “F”:** Corresponde a los flujos forzados, en donde los volúmenes son inferiores a los de la capacidad y las velocidades se reducen pudiendo producir paradas debido al congestionamiento.

Con respecto al tramo en estudio, el nivel de servicio resulta desfavorable, ya que en tan solo un año hubo un deterioro en la eficiencia de la vía pasando de un nivel D, año 2021, a un nivel F, año 2022, este último nivel correspondiente a los flujos forzados, puede observarse en las Imágenes 34 y 35 esta situación donde se aprecia la disminución del nivel de servicio. Esta situación puede afectar directamente en la seguridad en el tramo estudiado, considerando que se presentará la detención continua de vehículos que tienen como velocidad restringida en tramos previos de 80 km/h, donde en caso de requerir una detención total se necesitaría una distancia mínima de frenado de aproximadamente 40^[13] metros considerando un asfalto en buen estado y en condiciones externas ideales, y que puede aumentarse hasta al doble con un asfalto deteriorado; en el caso de estudio se cuentan con las condiciones más desfavorables para un frenado uniforme ya que se tienen condiciones geométricas que dificultan la visibilidad de los conductores para la detención oportuna del vehículo debido a la zona de curvas donde se tiene vegetación abundante y un nulo mantenimiento en las orillas de la calzada, así como una pendiente descendente del 6% en gran parte del tramo, y si adicionalmente consideramos que gran parte del parque vehicular del transporte de carga cuenta con deficiencias mecánicas, así como vehículos con exceso de carga, la probabilidad de ocurrencia de siniestros viales aumentará considerablemente.

^[13] Fabela, Vázquez, Hernández y Cruz (2019). *Perspectiva básica del análisis del desempeño al frenado*. Instituto Mexicano del Transporte

Car.: México - Toluca		Red: Federal Libre											
TRAMO	Km	V.H.	Porcentaje		T	t	#	VOLÚMENES DE SERVICIO					N S
			B	Cam				A	B	C	D	E	
México - Ent. Constituyentes y Reforma	12.84	4,751	2%	6%	L	6	2,993	4,402	5,810	7,307	8,803	C	
Ent. Constituyentes y Reforma - T. Der. Cuajimalpa (1º Acceso)	20.56	4,753	2%	6%	L	6	2,983	4,387	5,791	7,282	8,774	C	
T. Der. Cuajimalpa (1º Acceso) - T. Izq. Desierto de Los Leones	23.96	6,505	2%	6%	L	4	2,106	3,097	4,088	5,141	6,195	F	
T. Izq. Desierto de Los Leones - Lim. Edos. Term. CDMX Ppia. Méx.	33.44	4,232	1%	7%	L	4	2,085	3,066	4,047	5,089	6,131	D	
Lim. Edos. Term. CDMX Ppia. Méx. - T. Der. Huixquilucan	33.98	4,232	1%	7%	L	4	2,085	3,066	4,047	5,089	6,131	D	
T. Der. Huixquilucan - T. C. Constituyentes - La Marquesa (Cuota)	35.28	4,232	1%	7%	L	4	2,071	3,045	4,019	5,055	6,090	D	
T. C. Constituyentes - La Marquesa (Cuota) - T. C. La Marquesa - Lerma (Cuota)	36.98	4,232	1%	7%	L	4	2,071	3,045	4,019	5,055	6,090	D	

Imagen 34. Nivel de servicio de la carretera México – Toluca, año 2021 por la SICT.

Car.: México - Toluca		Red: Federal Libre											
TRAMO	Km	V.H.	Porcentaje		T	t	#	VOLÚMENES DE SERVICIO					N S
			B	Cam				A	B	C	D	E	
México - Ent. Constituyentes y Reforma	12.84	5,880	2%	6%	L	6	2,985	4,389	5,794	7,286	8,778	D	
Ent. Constituyentes y Reforma - T. Der. Cuajimalpa (1º Acceso)	20.56	5,871	2%	6%	L	6	2,981	4,383	5,786	7,276	8,767	D	
T. Der. Cuajimalpa (1º Acceso) - T. Izq. Desierto de Los Leones	23.96	7,127	2%	7%	L	4	2,075	3,052	4,029	5,066	6,104	F	
T. Izq. Desierto de Los Leones - Lim. Edos. Term. CDMX Ppia. Méx.	33.44	4,827	2%	11%	L	4	1,852	2,724	3,596	4,522	5,448	E	
Lim. Edos. Term. CDMX Ppia. Méx. - T. Der. Huixquilucan	33.98	4,827	2%	11%	L	4	1,852	2,724	3,596	4,522	5,448	E	
T. Der. Huixquilucan - T. C. Constituyentes - La Marquesa (Cuota)	35.28	6,113	2%	12%	L	4	1,812	2,665	3,518	4,424	5,330	F	
T. C. Constituyentes - La Marquesa (Cuota) - T. C. La Marquesa - Lerma (Cuota)	36.98	6,113	2%	12%	L	4	1,812	2,665	3,518	4,424	5,330	F	

Imagen 35. Nivel de servicio de la carretera México – Toluca, año 2022 por la SICT.

Si bien se calcula que una vialidad cumpla con una vida útil de máximo 20 años, en base a una proyección a futuro mediante registros históricos de carreteras similares en sus características y factores que inciden en la operación del camino proyectado, tiempo suficiente para que la vía llegue a su capacidad de diseño y requiera de una modernización, muchas veces se llega a esta capacidad años antes debido a estos factores que suelen ser variables en cada proyecto.

Los factores relevantes a considerar en una proyección de tránsito a futuro son los siguientes, no necesariamente incluyentes:

- **Crecimiento normal del tránsito (CNT)** un aumento normal en el uso de los vehículos y es considerado por el deseo de las personas por movilizarse, así como por la producción industrial de más vehículos diariamente,
- **Tránsito generado (TG)** que consta de tres aspectos: *tránsito inducido* que son nuevos viajes no realizados previamente por ningún modo de transporte, *tránsito convertido* que consiste en nuevos viajes previamente realizados masivamente en otros medios de transporte y han migrado al transporte particular y el *tránsito trasladado* que consiste en

viajes previamente hechos a destinos completamente diferentes, atribuibles a la atracción de la nueva carretera y no al cambio en el uso de suelo.

- **Tránsito desarrollado (TD)** Este crecimiento corresponde a las mejoras en la región adyacente a la carretera y este crecimiento forma parte del crecimiento normal del tránsito. A diferencia del tránsito generado, el tránsito desarrollado continúa actuando por muchos años después.

El Tránsito Futuro (TF), para el caso particular que nos ocupa, se compone únicamente del tránsito actual y un factor de proyección, el cual podrá ser obtenido de dos maneras:

1.- Obtenido de acuerdo a una estimación probabilística, ya sea de acuerdo a modelos de asignación de tránsito, los cuales son sustentados por las demandas pronosticadas. Estos modelos utilizan parámetros socioeconómicos y las demandas actuales obtenidas a través de encuestas de origen y destino; asimismo, se considera el tiempo de recorrido, las tarifas, los costos de operación, las características geométricas, y los volúmenes actuales y su composición.

2.- Obtenido de acuerdo a la regresión matemática, útil sobre todo en carreteras donde se cuenta con datos de las series históricas de los volúmenes de tránsito, a través de regresiones lineales y curvilíneas, ya sea exponencial, potencial y logarítmica.

Para el caso de estudio y en base a lo mencionado en la literatura, el factor de proyección podrá ser determinado a través de métodos de regresión lineal, exponencial, potencial y logarítmica; Rafael Cal y Mayor y James Cárdenas Grisales en su libro *Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones 9na. Edición* menciona lo siguiente: “...se ha comprobado que los volúmenes de tránsito futuro, no tienden a ser tan altos y tampoco tienden a ser tan bajos, por lo que la regresión lineal es la que más se ajusta a su tendencia de crecimiento”, esto lo menciona dado que de los ejemplos mostrados en su publicación, se obtuvo la proyección para cada uno de los 4 métodos antes mencionados, y se observó que la regresión exponencial, con el transcurrir de los años tiende a dar un factor de proyección muy elevado, por el contrario, las regresiones potencial y logarítmica tienden a obtener un factor de proyección muy bajo. Por lo anterior, la regresión lineal es la más adecuada.

Con los datos de la estación de aforo ubicada en el km 33+980 Sentido 1 de la carretera México - Toluca que fueron anteriormente mostrados en la Tabla 7, a través del método de mínimos cuadrados para el cálculo la tasa de crecimiento se obtiene que: La tasa de crecimiento en el sitio es de **-0.46%** a través de un método de mínimos cuadrados el cual es un método de regresión lineal y que de acuerdo a Rafael Cal y Mayor y James Cárdenas Grisales, es el comportamiento que más se adecua para la obtención de proyecciones de tránsito.

una estación de aforo ubicada en el km 47+260, 13 kilómetros delante de nuestro primer punto de aforo, será posible obtener una tasa de crecimiento en ese sitio si se cuenta con la información disponible para su análisis de al menos 4 años previos, a través del mismo método antes realizado. De la misma manera, podrá realizarse el mismo análisis del sitio si contamos con un punto de aforo que se encuentre previo a nuestro punto de interés; la confiabilidad del resultado dependerá en gran manera de la información disponible y de las características del sitio analizado; lo anterior se refiere a que se deberán considerar sitios que tengan características similares ya sea en el tema de geometría, uso de suelo, clasificación vehicular, cercanía con zonas urbanas y entronques, entre algunas otras más. Entre mayor similitud, el resultado obtenido podrá ser válido para su aplicación en nuestro punto de interés. Asimismo, podrá obtenerse un factor de correlación entre estaciones en casos donde los sitios analizados no cuenten con la similitud necesaria y las demás opciones de solución no sean factibles o se requiera de un análisis más detallado del sitio. De lo anterior, obsérvese como ejemplo lo mostrado en la Imagen 36, donde se tienen las dos estaciones de aforo mencionadas anteriormente, así como el sitio de la estación de aforo alternativa, en una zona con urbanización desarrollada, así mismo, se muestra en la Tabla 8 el TDPA de 12 años previos, donde se registra un claro aumento del volumen vehicular del sitio en cuestión.

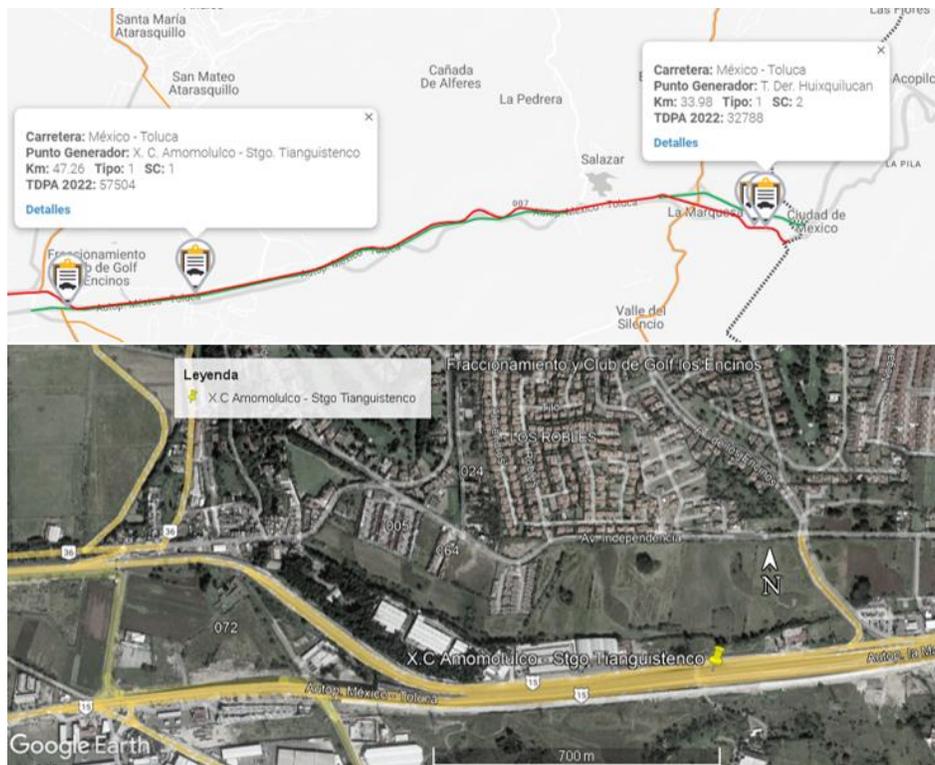


Imagen 36. Croquis de localización de ambas estaciones de aforo por Google Earth y Datos Viales.

X.C Amomolulco – Santiago Tianguistenco mostró una de mayor crecimiento, alta para una carretera que está en operación desde hace varios años, no obstante, es un valor que se esperaría de una región en la que el crecimiento demográfico se encuentra en su máximo punto. Sin embargo, considerar un crecimiento del 7.5% anual para nuestro estudio sería un error, ya que las condiciones de ambos puntos son totalmente opuestas, por un lado tenemos un tramo donde los centros suburbanos han sido establecidos en las inmediaciones de la carretera federal libre y donde el comportamiento del tránsito obedece a un tránsito desarrollado por las mejoras de la región en los últimos años y donde los motivos de viaje suelen ser locales; por otro lado, en el tramo de estudio se ubican comercios en zonas aledañas a la carretera motivo por el cual los vehículos no salen directamente de la carretera, así mismo no se tienen centros suburbanos cercanos y los motivos de viaje suelen ser turísticos y de largo itinerario, estas condiciones del entorno (uso de suelo y cercanía a zonas urbanas o suburbanas) son las que hacen la diferencia para ambos sitios, a pesar de contar con características geométricas y clasificación vehicular similar; en el primer sitio observamos un comportamiento muy definido y que no se ve alterado por factores externos como los que se pueden identificar en el segundo sitio. De la misma manera, si realizamos un análisis en el punto de aforo ubicado en el km 23+960 previo al sitio de interés, se observará un comportamiento muy similar en su tasa de crecimiento debido a la cercanía con los centros suburbanos cercanos, además, se tienen diferencias geométricas importantes ya que la vialidad.

Entonces, recurriendo al segundo caso donde la tasa de crecimiento debe ser un estimado con base a la experiencia y literatura, Rafael Cal y Mayor y James Cárdenas Grisales en su libro *Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones 9na. Edición*, menciona que “El valor utilizado en el pronóstico del tránsito futuro para nuevas vialidades, sobre la base de un período de proyecto de 20 años, está en el intervalo de 1.5 a 2.5” (sic), la carretera en cuestión no cumple con el criterio de nueva vialidad, sin embargo, con base a la experiencia en el tema; en carreteras ya consolidadas se tienen registros de una tasa de crecimiento del 1% hasta el 3%, asimismo, esta afirmación se sustenta con las tasas de crecimiento obtenidas por la DGST durante el año 2020 y 2021, donde carreteras federales libres como México – Pachuca o México – Puebla, tienen registros de crecimiento de aproximadamente 2%, y que además tienen una clasificación vehicular similar a la encontrada en la carretera México – Toluca.

De los datos mostrados en las Imágenes 37 y 38, se observa que durante el año 2020 y 2021 se presenta un crecimiento y decrecimiento superior a lo normal dado que se mantuvo la emergencia sanitaria por COVID-19, por lo anterior se tuvo un comportamiento inusual en el tránsito de las carreteras durante estos años, por lo cual, para la estimación de la tasa de crecimiento en el año 2021, se consideró un valor lineal que no tomará esa gran variación durante la emergencia sanitaria.

Para el sitio en estudio, se considera adecuado tomar una **tasa de crecimiento del 2%** ya que es un valor que, como ha sido mencionado anteriormente, se presentan en otras carreteras con la misma importancia comercial y con características geométricas y operativas similares; así mismo, es un tramo donde la mancha urbana no afectará de manera significativa ya que el relieve natural en la zona no le permite extenderse en los alrededores del tramo, aunque el crecimiento en el

tránsito está condicionado al incremento de actividades turísticas en los alrededores, prácticamente el tránsito en el tramo se encuentra en una etapa de consolidación y se espera una variación mínima a futuro.

TASAS DE CRECIMIENTO DEL TRÁNSITO VEHICULAR

Estado: CIUDAD DE MEXICO

Año: 2020

RED FEDERAL LIBRE

Índice	Carretera	Clave	Ruta	Long. (km)	T. C. 2014-2018	T. C. 2015-2019	T. C. 2019-2020	T. C. 2020-2021
1	México - Cuernavaca (Libre)	00040	MEX-095	75.420	1.0%	-1.1%	-11.5%	11.6%
2	México - Pachuca (Libre)	00431	MEX-085	94.000	4.7%	5.6%	-22.3%	15.4%
3	México - Puebla (Libre)	00449	MEX-150	131.000	4.8%	2.4%	-11.2%	10.6%
4	México - Toluca	00447	MEX-015	66.000	2.2%	4.3%	-18.2%	12.7%
5	San Gregorio - Oaxtepec	00901	MEX-113	56.000	4.3%	1.7%	-11.3%	14.0%

Imagen 37. Tablas de tasas de crecimiento obtenidas en carreteras federales libres por la SICT, año 2020.

TASAS DE CRECIMIENTO DEL TRÁNSITO VEHICULAR

Estado: CIUDAD DE MEXICO

Año: 2021

RED FEDERAL LIBRE

Índice	Carretera	Clave	Ruta	Long. (km)	T. C. 2014-2018	T. C. 2015-2019	T. C. 2019-2020	T. C. 2020-2021	T. C. 2021-2022
1	México - Cuernavaca (Libre)	00040	MEX-095	75.420	1.0%	-1.1%	-11.5%	12.0%	-1.8%
2	México - Pachuca (Libre)	00431	MEX-085	94.000	4.7%	5.6%	-22.3%	21.0%	1.8%
3	México - Puebla (Libre)	00449	MEX-150	131.000	4.8%	2.4%	-11.2%	10.0%	1.8%
4	México - Toluca	00447	MEX-015	66.000	2.2%	4.3%	-18.2%	18.7%	2.5%
5	San Gregorio - Oaxtepec	00901	MEX-113	56.000	4.3%	1.7%	-11.3%	11.7%	-0.5%

Imagen 38. Tablas de tasas de crecimiento obtenidas en carreteras federales libres por la SICT, año 2021.

Como un ejemplo, si tenemos todos los datos históricos del tránsito en el tramo o una cantidad mayor a 15 datos, será posible obtener una tasa de crecimiento aproximada a la situación real del tramo. Para nuestro caso, contamos con información del tránsito desde el año 2003 hasta el año 2023, datos de 20 años consecutivos que sin duda pueden dar un resultado bastante aproximado de la tasa de crecimiento real. De la misma manera que con otras estimaciones de la tasa de crecimiento, se deberán tomar en cuenta los cambios que han sucedido en la región, ya sean en el ámbito económico, urbano, social, de movilidad en la región, etc.

La importancia de considerar los cambios en la región radica en que los resultados que obtengamos sean congruentes con la dinámica de la región; por ejemplo, una tasa de crecimiento alta es congruente con una región donde se tienen núcleos urbanos o turísticos de gran importancia, así como a sitios donde se comienzan a crear más núcleos urbanos y donde la movilidad se ve limitada a trasladarse en automóvil particular por lo que cada año se verá reflejado un aumento en el tránsito; por otro lado, si obtenemos una tasa de crecimiento alta en zonas donde no se tienen centros urbanos cercanos o el camino no conecta a grandes ciudades de importancia económica, se deberá analizar con más detenimiento el resultado para saber si en realidad es representativo del tramo o carretera ya que pueden haber factores que alteren el análisis y obtención de la tasa de crecimiento.

Esto es una generalidad y pueden existir sitios donde no se sigan los mismos patrones aquí descritos, por lo que se deberá analizar con detenimiento los sitios estudiados.

Entonces para el estudio de caso, el cálculo de la tasa de crecimiento podrá ser realizado en base a los datos viales registrados del año 2003 a 2019, siendo este último año el que tiene un comportamiento considerado como normal o regular; mediante el método de mínimos cuadrados obtenemos que se tiene una tasa de crecimiento del 2.78% a lo largo de 17 años como se muestra en la Tabla 10, lo cual es congruente con los diversos cambios que se han tenido en la zona, siendo el principal cambio la puesta en operación de la autopista México – Toluca, considerada como una opción más rápida y segura por algunos usuarios y que muchos migraron de viajar por la carretera libre a preferir transitar a través de la carretera de cuota, sin embargo el crecimiento que se presenta a lo largo de los 17 años se debe a que se incentivó a la zona como un lugar turístico, siendo un lugar recreativo para las familias, y que además una fuente de empleo originando núcleos urbanos dada la necesidad de las personas de vivir cerca de su zona de trabajo. Muy probablemente sin la construcción de la autopista México – Toluca, la tasa de crecimiento debería ser mayor al 5% y se encontraría en una situación de saturación en la que complicaría el tránsito en el tramo.

Tabla 10.

Obtención de la Tasa de Crecimiento a través de los datos viales disponibles del año 2003 a 2019.

Calculo de la tasa de crecimiento					
MÉTODO DE MÍNIMOS CUADRADOS					
AÑO	N°	TDPA	(N°) ²	(N°)(TDPA)	(TDPA) ²
2003	1	18575	1	18,575	345,030,625
2004	2	19158	4	38,316	367,028,964
2005	3	20414	9	61,242	416,731,396
2006	4	19480	16	77,920	379,470,400
2007	5	23481	25	117,405	551,357,361
2008	6	23879	36	143,274	570,206,641
2009	7	24560	49	171,920	603,193,600
2010	8	23931	64	191,448	572,692,761
2011	9	27686	81	249,174	766,514,596
2012	10	26833	100	268,330	720,009,889
2013	11	26649	121	293,139	710,169,201
2014	12	27705	144	332,460	767,567,025
2015	13	27546	169	358,098	758,782,116
2016	14	27511	196	385,154	756,855,121
2017	15	26197	225	392,955	686,282,809
2018	16	25183	256	402,928	634,183,489
2019	17	27360	289	465,120	748,569,600
Σ =	153	416,148	1,785	3,967,458	10,354,645,594

$A_0 =$	$\frac{\Sigma(TDPA)\Sigma(N^{\circ 2}) - \Sigma(N^{\circ})\Sigma(N^{\circ}TDPA)}{N\Sigma(N^{\circ 2}) - (\Sigma N^{\circ})^2}$
$A_0 =$	19,579
$A_1 =$	$\frac{N\Sigma(N^{\circ}TDPA) - \Sigma(N^{\circ})\Sigma(TDPA)}{N\Sigma(N^{\circ 2}) - (\Sigma N^{\circ})^2}$
$A_1 =$	544.43
$TDPA_{N^{\circ}} =$	19579.46 + 544.43 (TPDA_{N^o-1})
$tc =$	$\frac{N(A_1)}{[\Sigma(TDPA) - (A_1)(\Sigma N^{\circ})]}$
	tc = 2.78%

Nota. Elaboración propia.

Continuando con el procedimiento para el cálculo del tránsito futuro; una vez obtenida la tasa de crecimiento, es posible determinar un TDPA futuro esperado para los próximos 20 años, el cual

podrá ser obtenido a través de una proyección con tendencia lineal o con una tendencia curvilínea. El uso de estas dos tendencias dependerá de las condiciones de operación existentes en el tramo de estudio. El proyectista deberá considerar cual es la mejor opción para obtener la proyección más certera de acuerdo a las características de operación en la vialidad.

En la Dirección General de Servicios Técnicos para términos prácticos es usual realizar dicha proyección a través del método de mínimos cuadrados y el uso de una proyección lineal, dado que suele ser el crecimiento más común observado en muchas de las carreteras del país; por lo anterior será la proyección utilizada en este trabajo.

Para una proyección lineal se utilizará la siguiente expresión:

Ecuación (1)

$$TDPA_{X_i} = TDPA_{Actual} * [1 + (T.C.* X_i)]; \text{ donde:}$$

– X_i → es el número de años de la proyección.

– $T.C.$ → Tasa de crecimiento obtenida a través del método de Mínimos cuadrados, en decimales.

Como ejemplo práctico para el uso de la anterior ecuación: Si tenemos en el tramo un TDPA de 18 575 veh/día, considerando una tasa de crecimiento promedio anual de 2.5%, la máxima considerada para una nueva vialidad, y necesitamos obtener la demanda futura de la vía en el horizonte de proyecto el cual es de 20 años, sustituimos de la Ecuación (1) lo siguiente:

$$TDPA_{20 \text{ años}} = 18575 \frac{veh}{día} * [1 + (0.025 * 20)]$$

Resolviendo se obtiene que:

$$TDPA_{20 \text{ años}} = 18575 \frac{veh}{día} * [1 + (0.5)] \rightarrow 18575 \frac{veh}{día} * [1.5] = \mathbf{27\ 863 \frac{veh}{día}}$$

Existen ecuaciones que pueden englobar más variables dentro de la misma; sin embargo, la ecuación antes descrita puede resultar como una primera opción para la estimación futura del tránsito, dada la facilidad de su aplicación y que tiene una precisión aceptable al menos para su uso en la práctica.

Para el Caso de Estudio particular, se determinó que la **tasa de crecimiento promedio anual representativa para el tramo es del 2%**; con un TDPA registrado en el año 2021 en el que se obtuvo que transitaban diariamente 29 735 veh/día, únicamente en el sentido 1, con los datos obtenidos anteriormente, es posible determinar el tránsito futuro en el tramo sustituyendo los datos en las ecuaciones antes mencionadas, realizando los cálculos correspondientes para cada año, se muestran los resultados en la siguiente tabla:

Tabla 11.*TDPA futuro a 20 años en el tramo T.Der. Huixquilucan, km 33+980*

Carretera México - Toluca, Ruta: 15, Tramo: T. Der. Huixquilucan (km 33+980)			
Tasa de Crecimiento promedio Anual:			2%
Año	TDPA (Sentido 1)	Xi	Proyección Lineal (TDPA Futuro)
2021	29735	0	-
2022	-	1	30330
2023	-	2	30924
2024	-	3	31519
2025	-	4	32114
2026	-	5	32709
2027	-	6	33303
2028	-	7	33898
2029	-	8	34493
2030	-	9	35087
2031	-	10	35682
2032	-	11	36277
2033	-	12	36871
2034	-	13	37466
2035	-	14	38061
2036	-	15	38656
2037	-	16	39250
2038	-	17	39845
2039	-	18	40440
2040	-	19	41034
2041	-	20	41629

Nota. Elaboración propia.

Para el caso de estudio, se toma como el valor aproximado al tránsito futuro esperado en el tramo lo obtenido con la proyección lineal, esto debido a dos condiciones en el tramo:

1. El tramo tiene un tránsito ya consolidado el cual se basa en su mayor parte por viajes locales entre comunidades aledañas, por lo que se incrementará el tránsito a lo largo del tiempo conforme se expandan estas mismas; por otro lado, los viajes de largo itinerario en el tramo se pueden ver disminuidos en el caso de que se llegue a un nivel de servicio F en el tramo previo y posterior al de estudio.
2. El tránsito particular puede verse disminuido con la puesta en operación del proyecto del tren interurbano México – Toluca, el cual disminuye los costos y tiempos de traslado, de manera que algunos de los usuarios particulares de la carretera libre migraran al transporte colectivo, dejando la posibilidad de que se aumente el tránsito de vehículos de carga para largo itinerario.

Con un **TDPA esperado de 41,629 vehículos diarios** en el tramo para el **horizonte de planeación a 20 años**; y si consideramos una clasificación vehicular como la del año 2019 donde se tenía que del tránsito que circulaba en el sitio, el 88.2% correspondía a vehículos ligeros (A), 1.3% a los autobuses (B) y 10.5% a vehículos de carga (C), con el TDPA proyectado a un horizonte de proyecto de 20 años, podemos obtener que **en el tramo se espera que circulen diariamente aproximadamente 4 371 vehículos de carga**, que son los vehículos con el potencial riesgo de sufrir un siniestro vial en el tramo y donde una de las causas sea la falla en el sistema de frenado y que además pueden verse afectados otros vehículos en caso de encontrarse con un tránsito detenido en el tramo.

Por lo que, a lo largo de 20 años estarán circulando entre 1 963 a 4 163 vehículos de carga diariamente en el tramo, en tan solo un año tenemos al menos 716 495 veces la posibilidad de que ocurra un siniestro vial donde un vehículo de carga esté involucrado por falla en el sistema de frenado, por lo que una rampa de frenado de emergencia será un dispositivo que, dadas las condiciones de operación y del relieve de la zona, será necesaria su instalación para salvaguardar la vida de las personas que transitan en el tramo; así mismo, la necesidad de instalar este dispositivo se encuentra sustentada en la accidentabilidad registrada en el sitio.

Anteriormente, la Dirección General de Servicios Técnicos tenía como una de sus actividades la integración de la Estadística de Accidentes de Tránsito ocurridos en la Red Carretera Federal, mediante el registro, análisis y tratamiento estadístico de la información proporcionada por la Policía Federal en la parte de accidentes, ahora Guardia Nacional, con la finalidad de disponer de información relacionada con los sitios de alta frecuencia, las causas que lo produjeron y los saldos que resultaron como consecuencia de los accidentes, entre otra información, para que mediante su análisis, las áreas encargadas de la conservación de carreteras libres y de cuota, establezcan programas dirigidos a la prevención de los accidentes. Sin embargo, actualmente esta tarea está siendo llevada a cabo por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), el cual publica de manera anual la *Estadística de Siniestros de Tránsito* y el *Anuario Estadístico de Colisiones en Carreteras Federales*.

Para entender de manera general la información que se presenta en estos documentos, se describirán algunas de las principales definiciones consideradas en esta estadística.

Los Siniestros de tránsito se pueden clasificar atendiendo a diferentes criterios, por ejemplo, por su gravedad, por el lugar impacto entre los participantes y en atención al número de unidades vehiculares que intervienen:

De acuerdo a la gravedad de los percances: En cualquier colisión pueden presentarse diferentes grados de gravedad, principalmente a las víctimas; siendo una práctica común tomar como referencia el hecho más severo. Se dividen en: a) colisión con víctimas fatales, b) colisión con personas lesionadas y; c) solo daños materiales.

Según el lugar de impacto: Se refiere a la parte donde se presenta el contacto entre los vehículos involucrados. Los tipos de colisiones más comunes son:

- Salida del camino: sucede cuando un vehículo abandona la superficie de rodamiento hacia una zona lateral del camino.
- Frontal: siempre y cuando las partes frontales de los vehículos entran en contacto.
- Lateral: siempre y cuando una de las partes laterales del vehículo entra en contacto con el otro vehículo.
- Por alcance: siempre y cuando la parte frontal de un vehículo entra en contacto con la parte trasera del otro vehículo.
- De costado: siempre y cuando las partes laterales de los vehículos entran en contacto, ya sea circulando ambos en el mismo sentido o uno de ellos en sentido contrario.
- Atropellamiento: ocurren cuando se produce un impacto de un vehículo hacia un peatón o ciclista.
- Incendio: en aquellos casos en que el vehículo se incendia sin que exista un percance previo.
- Volcadura: se produce cuando un vehículo sufre un vuelco cuando está en movimiento ya sea sobre sus lados (lateral) o de frente (longitudinal).
- Choque contra objeto fijo: sucede cuando el vehículo impacta contra un elemento de la vía o un objeto fuera de esta misma, ya sea un árbol, señales bajas, postes de luz, barrera central o de orilla de corona, etc.

Por el número de unidades vehiculares involucradas: Se refiere al número de vehículos o peatones involucrados en un Hecho de tránsito. Existen dos tipos: unitarios y múltiples, los primeros, son la salida del camino, el choque contra objeto fijo, volcadura, incendio y caída de ocupante; los segundos, involucran a dos o más participantes y son el choque frontal, por alcance, de costado, lateral y atropellamiento.

En México, las causas son a juicio de la autoridad responsable que levanta parte de los informes de accidentes y no de un peritaje formal, estos evalúan la interacción de cada uno de los elementos del tránsito en la ocurrencia del accidente y en ocasiones, aun cuando la causa directa del accidente haya sido relacionada con otro de los elementos que conforman el tránsito (vehículo o camino), generalmente un error del conductor o su conducta imprudente impide evitar el accidente y/o agrava las consecuencias del mismo.

Por lo que es posible atribuir a un error humano el fallo a los sistemas de frenado, recordemos que el mecanismo convencional de frenado en los vehículos de carretera consta de dos elementos que interactúan por fricción y que en caso de una conducción imprudente es el primer sistema que puede sufrir averías en su funcionamiento. En caso de un manejo imprudente por parte del operador aun conociendo el estado físico de la unidad que conduce, el factor del vehículo no se considerará relevante en los informes de levantamiento del siniestro de tránsito ya que fue la conducta del operador el factor que llevo a desencadenar el evento. Cabe destacar que, en la ocurrencia de un siniestro de tránsito, los causantes principales son conductor (humano), vehículo, camino y agentes

naturales que son los elementos que interactúan entre sí, y que actualmente por lo que no se puede considerar una única "causa principal", sino como un "hecho multicausal", sin embargo, en ocasiones puede ser registrada una única causa como la principal, siendo la de mayor participación el factor humano.

Es importante destacar, ya que se observó una gran cantidad de siniestros de tránsito donde la causa principal fue debido al factor humano, no obstante, no será el único factor que haya contribuido al suceso en cuestión. Para un análisis más crítico, será necesario de una base de datos más completa y con datos que sean relevantes. Por lo tanto, la información aquí presentada se basará únicamente en los datos estadísticos y públicos, se deberá obtener una base de datos más detallada para corroborar que la ubicación de la rampa se consideró bajo la circunstancia de la ocurrencia anual de un accidente fatal ocasionado por un vehículo sin frenos o que se presentarán accidentes causados por vehículos sin frenos y que estos resultarán en colisiones con otros vehículos o con instalaciones ocupadas por personas.

Del Estudio de Caso, consideramos un tramo de 5 kilómetros previos al km 40+000 que es donde se ubica el final de la rampa estudiada; recordemos que el inicio de la pendiente descendente se encuentra en el km 34+200 con una velocidad regulada de 80 km/h, por lo que en caso de siniestros de tránsito causados por sistemas de frenado averiados deberían encontrarse en los kilómetros sucesivos a este sitio por lo cual nos centraremos entre estos dos sitios de interés (del km 35+000 al km 40+000).

Durante el año 2012, año de la construcción de la rampa de emergencia para frenado, se tuvieron en el tramo 46 accidentes de los cuales se tuvieron como saldo 28 Heridos, 8 muertos y \$1'436,000.00 de pesos mexicanos en daños materiales; de estos 46 accidentes se desglosan las siguientes causas: 42 fueron provocados por el conductor, 1 por peatones, 2 por falla en el vehículo y 1 por circunstancias del camino. No se especifica si en los siniestros causados por el factor vehículo es donde se tuvieron víctimas fatales, obsérvese la Imagen 39, la cual ilustra de manera grafica los siniestros viales ocurridos kilómetro por kilómetro.

Con la estadística de accidentabilidad en el tramo durante ese año, gran parte de los accidentes se concentraban en el km 38+000 con 12 siniestros de tránsito donde el causante con mayor influencia es el conductor, sin embargo, gran parte de estos siniestros son clasificados como "Salida del camino" y "Choque contra objeto fijo", los cuales se infiere que hubo una pérdida de control del vehículo debido a las altas velocidades en las que circulaban, y aunque no se reporta en ninguno de estos hechos el malfuncionamiento de algún sistema del vehículo, probablemente haya sido también un factor que contribuyera al accidente en cuestión, aunque en los kilómetros 37+000 y 39+000 si se reportan siniestros de tránsito donde el factor principal fue el vehículo.

CARRETERA Y TRAMO: México - Toluca Lim. Edos. DF/Méx. - Toluca (MEX-015)

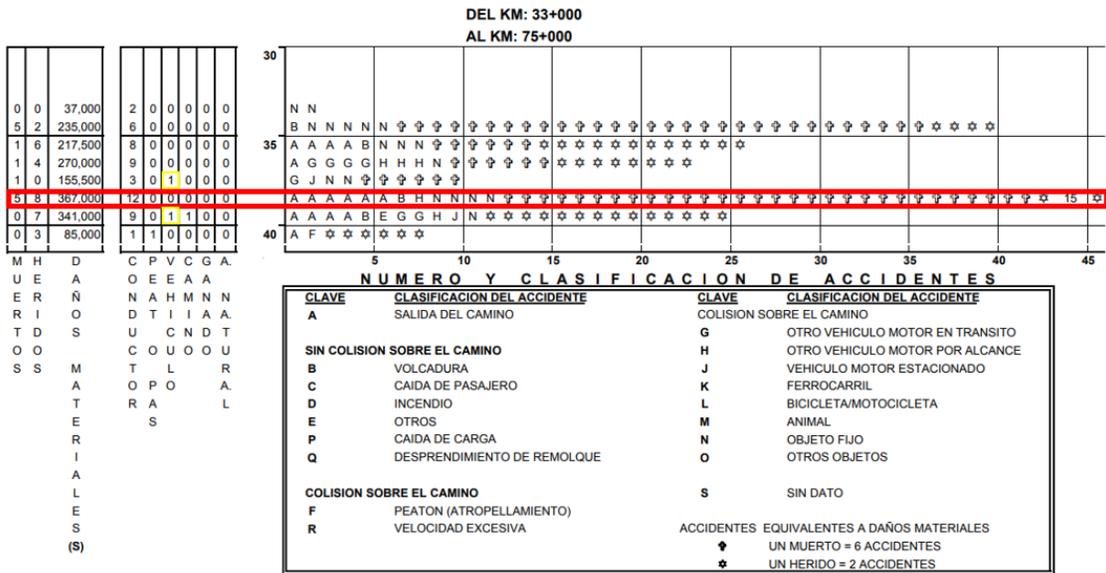


Imagen 39. Accidentabilidad en el tramo México – Toluca (35+000 – 40+000), año 2012.

Con un análisis detallado del tramo en 2 años previos a la puesta en operación de la primera rampa de emergencia para frenado (2010 y 2011), se observa un comportamiento muy similar donde los km 38+000 y 39+000, son los sitios donde ocurrían el mayor número de siniestros, por lo que se puede inferir que la ubicación inicial de la rampa fue seleccionada de acuerdo a la siniestralidad en el tramo, sin embargo, el análisis no es concluyente para inferir dicha afirmación.

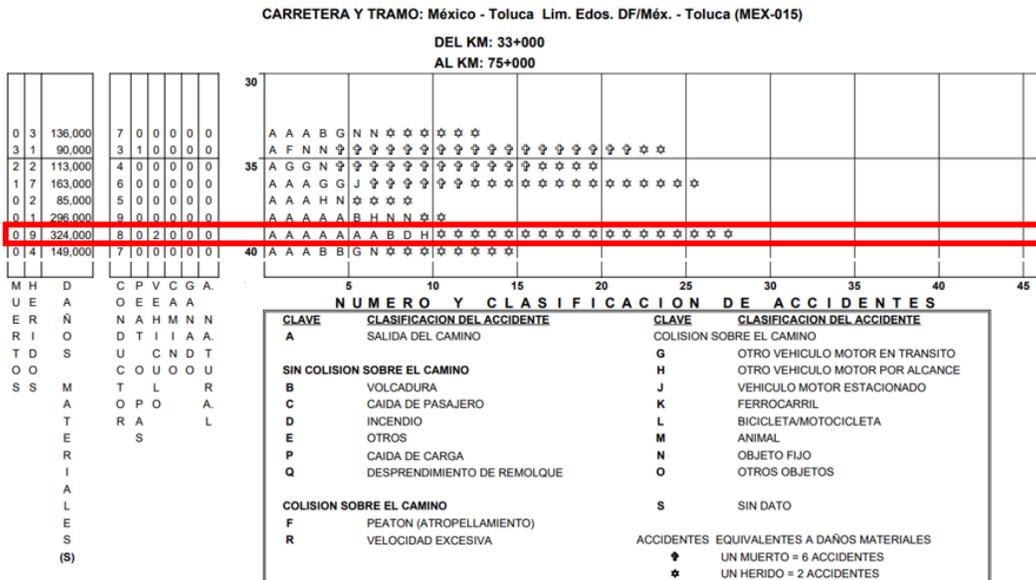


Imagen 40. Accidentabilidad en el tramo México – Toluca (35+000 – 40+000), año 2011.

Como se observa en la Imagen 40, durante el año 2011, el km 39+000 fue el sitio con el mayor número de siniestros de tránsito en el tramo, donde gran parte de estos acontecimientos fueron

clasificados como “Salida del camino”, asimismo, el saldo de víctimas en tan solo ese sitio contabilizo 9 personas lesionadas en el lugar de los hechos.

En el año 2010 se registró el mayor número de siniestros de tránsito, teniendo un acumulado de 52 hechos, si observamos en la Imagen 41, se tienen registrados en el km 38+000 un total de 18 siniestros de tránsito, todos atribuibles al conductor, sin embargo, la clasificación de la mayor parte de estos hechos fueron “Salida del camino” y “Choque contra objeto fijo”, que como ha sido mencionado anteriormente, se infiere que estos hechos se debieron a las altas velocidades con las que circulaban los vehículos, pero que además, esto puede conllevar además otras causas como fallas en los sistemas de frenado por la pérdida del control del vehículo y un camino con deficiencias en su trazo para evitar una salida inesperada del camino; además, se tuvo un saldo de víctimas bastante elevado teniendo 9 personas lesionadas y 2 víctimas fatales, cumpliendo el criterio de siniestralidad para considerar la construcción de una rampa de frenado para emergencia en caso de que alguno de estos acontecimientos haya sido derivado de una falla en el sistema de frenado.

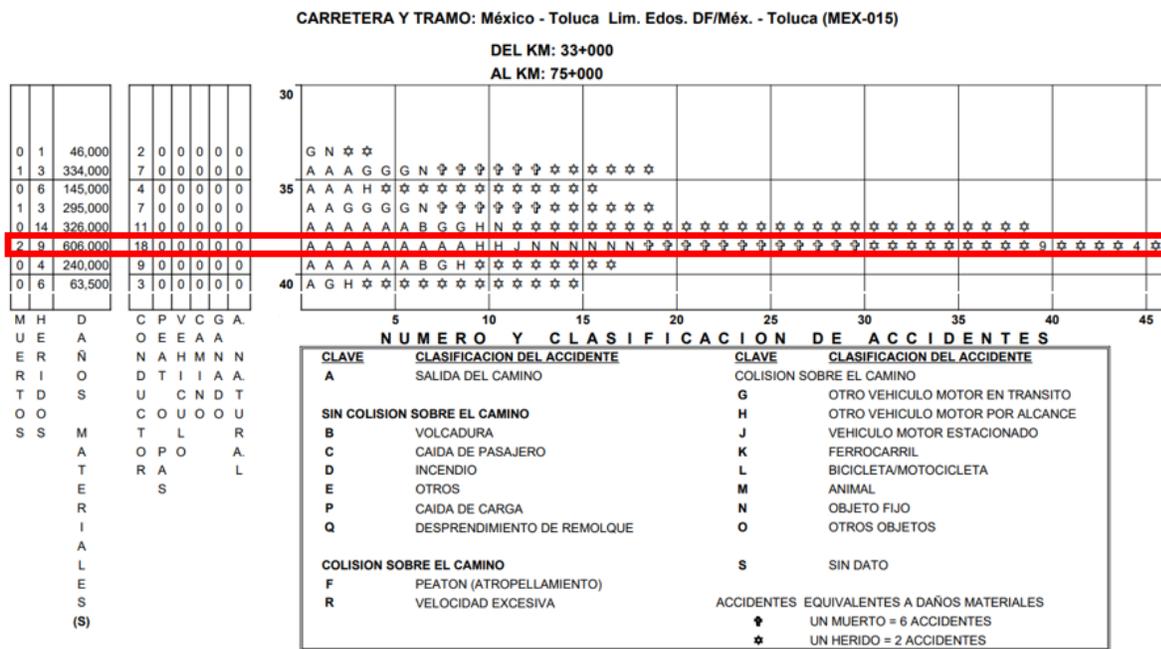


Imagen 41. Accidentabilidad en el tramo México – Toluca (35+000 – 40+000), año 2010.

La normativa que se encontraba vigente en el año de 2012 y reglamentaba la construcción de las rampas de frenado era la NOM-036-SCT2-2009, la cual señalaba como un requisito para considerar la construcción de una rampa lo siguiente: “La primera es que, por efecto de un alineamiento vertical descendente, los vehículos con los frenos dañados puedan acelerarse a velocidades mayores que las toleradas por el alineamiento horizontal o hasta ciento cuarenta (140) kilómetros por hora. La segunda es la ocurrencia anual de un accidente fatal causado por vehículos sin frenos o cuando los accidentes causados por los vehículos sin frenos puedan resultar en colisiones con otros vehículos o con instalaciones ocupadas por otras personas...” (sic)

Entonces, con los datos y registros de accidentes anteriormente descritos, el tramo estudiado cumple con el criterio de la ocurrencia anual de accidentes, basándonos en la siniestralidad estudiada, posiblemente los sitios propuestos para la construcción de la rampa fue en los kilómetros 38+000, 39+000 y 40+000, siendo los puntos de mayor ocurrencia de siniestros viales, principalmente por las salidas del camino; de la geometría revisada anteriormente, las curvas horizontales entre los km 38+000 y 39+000, así como la falta de espacio, no permitía la construcción de la rampa de emergencia para frenado, dejando como única opción el tramo comprendido entre los km 39+000 y 40+000 teniéndose en este segmento una tangente de 750 m, ideal para la instalación de la rampa de emergencia para frenado, por lo cual fue el sitio designado para su construcción durante el año 2012.

Si observamos por medio de fotografía satelital (Imagen 42), el tramo donde fue construida la rampa, se pueden apreciar los cambios que han surgido en el transcurso de los años, siendo construida durante el segundo semestre de 2012, ubicada en el km 40+300, unos 100 metros antes de un retorno a nivel con dirección hacia Ciudad de México y que posteriormente a su construcción, el retorno fue reubicado al km 40+700 aproximadamente, y dejando en operación a la rampa de frenado a finales del año 2012 en el km 40+300.



Imagen 42. Ubicación de la rampa de frenado, año 2012.

Para el año 2013, un año después de la construcción y puesta en operación de la rampa, de la accidentabilidad registrada en el Anuario Estadístico de Accidentes 2013, fueron contabilizados en el tramo 31 siniestros de tránsito con un saldo de 28 personas lesionadas, 2 víctimas fatales y daños materiales de \$1'258,500.00 de pesos mexicanos; tal y como puede observarse en la Imagen 43; aunque no se evitó totalmente la siniestralidad en el sitio, sí se observó una clara disminución de siniestros en el tramo en comparación a los años anteriores, sin embargo se mantenía un número alarmante de estos incidentes, obsérvese Imagen 43.

CARRETERA Y TRAMO: México - Toluca Lim. Edos. DF/Méx. - Toluca (MEX-015)

DEL KM: 33+000
AL KM: 75+000

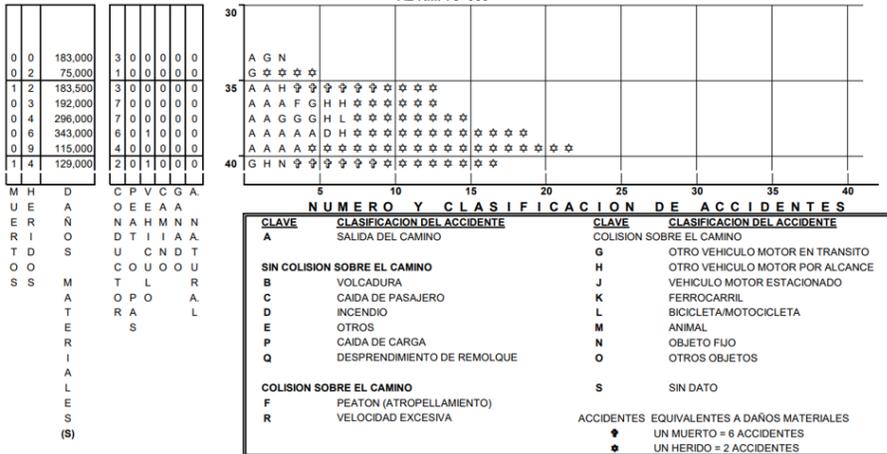


Imagen 43. Accidentabilidad en el tramo México – Toluca (35+000 – 40+000), año 2013.

Debido a la construcción de la autopista México – Toluca (Cuota) con número de ruta MEX015-D durante el periodo de 2015 a 2016, fue necesaria la reubicación de la rampa de emergencia para frenado de la carretera libre para darle suficiente área a la rampa que sería construida en la autopista de cuota, ya que ambas vialidades tienen condiciones geométricas y de operación similares con una pendiente descendente del 6% sostenida durante al menos 3 km previos a esta primera rampa de emergencia para frenado, por lo cual la rampa construida en el km 40+300 de la carretera libre fue reubicada en el año 2015 al km 39+800 de la misma carretera con una longitud reducida debido al poco espacio con el que se contaba para su construcción, obsérvese la Imagen 44 que ilustra esta situación.



Imagen 44. Reubicación de la rampa de emergencia para frenado de la carretera México – Toluca.

No se tiene un reporte o estadística pública del uso que tienen las rampas cada año, por lo que no se puede desglosar a detalle el número de usos que tiene por año. Asimismo, no se puede obtener información acerca de su eficiencia para la detención de vehículos de carga y las acciones que se requieren para salvar al ocupante y el vehículo de la cama de frenado.

A continuación, en la Tabla 12 se presenta un resumen de los registros de siniestros de tránsito en el tramo comprendido del km 35+000 al km 40+000, del año 2008 al año 2021, se puede observar que después de la construcción de la rampa de emergencia para frenado, los siniestros de tránsito han disminuido, sin embargo, se mantiene en el transcurso del tiempo una cifra preocupante, donde una de las causas de mayor interés es el “camino”.

Tabla 12.

Resumen de accidentabilidad en el tramo del km 35+000 al km 40+000, del año 2008 al año 2021.

Año	Saldos			Causas						
	Accidentes	Muertos	Heridos	Daños Materiales (\$)	Conductor	Peatón o Pasajero	Vehículo	Camino	Ganado	Agente Natural
2008	26	2	24	978,000	26	0	0	0	0	0
2009	33	5	27	2010000	31	1	1	0	0	0
2010	52	3	42	1675500	52	0	0	0	0	0
2011	41	3	25	1130000	39	0	2	0	0	0
2012	46	28	8	1436000	42	1	2	1	0	0
2013	31	3	28	1258500	29	0	2	0	0	0
2014	13	3	19	509,000	11	0	1	1	0	0
2015	24	4	14	3278000	20	0	3	1	0	0
2016	10	2	7	665,000	8	0	1	1	0	0
2017	1	0	0	100,000	1	0	0	0	0	0
2018	6	3	4	610,000	4	-	1	0	0	0
2019	10	4	1	685,000	10	-	1	6	0	2
2020	20	16	19	3710000	19	-	0	23	0	14
2021	13	2	2	644,000	11	-	0	7	0	2
Total	326	78	220	18,689,000	303	2	14	40	0	18

Nota. Elaboración propia.

A partir del año 2015, después de la reubicación de la rampa de emergencia para frenado, de acuerdo a las estadísticas de accidentes en la red carretera federal, los tipos de colisiones más comunes en el tramo del km 35+000 al 40+000 eran las salidas del camino y las colisiones o choques contra objetos fijos, ya sea con barrera de contención, postes o con algún otro objeto que forme parte de la infraestructura, esto puede verse en la siguiente tabla:

Tabla 13.

Clasificación de accidentes en el km 35+000 al km 40+000, del año 2015 al año 2021.

Año	Accidentes	Clasificación del accidente		
		Salida del camino	Choque por alcance	Choque contra objeto fijo
2015	24	5	6	1
2016	10	2	2	0
2017	1	0	0	1
2018	6	1	1	1
2019	10	3	0	4
2020	20	3	1	12
2021	13	4	1	5

Nota. Elaboración propia.

Para sustentar la necesidad de una rampa en base a la siniestralidad del tramo se utilizará el *Adendum al libro de Datos Viales: Velocidades de punto*, con motivo de fundamentar el exceso de velocidad en el tramo de estudio; recordemos que los siniestros viales pueden ser originados por diversas causas, una de ellas el exceso de velocidad y que a su vez esta causa puede ser derivada por falla en los elementos que componen el camino o por un descuido del usuario. Si bien los datos obtenidos de este material publicado no hacen diferencia entre el factor del camino o del usuario como responsable de la aceleración del vehículo, nos da argumentos suficientes para sustentar que el exceso de velocidad en el tramo, sea cual sea la razón, es un grave problema en el tramo y siguiendo los principios del “Enfoque de Sistema Seguro” el cual considera fundamental la construcción de “vías perdonadoras” que contemplan la instalación de medidas tradicionales para la reducción de la severidad en caso de un siniestro vial. Del material anteriormente referido, se obtendrán datos con respecto a la “velocidad de punto”, definida como “La velocidad de un vehículo a su paso por un punto de un camino. Los valores usuales para estimarla son el promedio de las velocidades en un punto de todos los transportes, o de una clase establecida de unidades; además, el adendum forma parte como un anexo a Datos Viales, el cual registra las velocidades de operación en los tramos de las carreteras; con el análisis de esta información se permitirá tener una perspectiva práctica del sitio para emitir una opinión fundamentada en datos públicos.

Para este caso de estudio tomaremos los datos registrados durante el año 2021, del cual se tiene que en el tramo “T. Der. Huixquilucan” (el cual inicia desde el km 33+980 y termina en el km 47+260, ambos puntos sobre el sobre el sentido 1) los vehículos ligeros (A) inician con una velocidad promedio de 68.6 km/h y terminan el tramo con una velocidad de 80.7 km/h con una variación aproximada de 10 km/hr; en el caso de los autobuses (B) se registran velocidades de 65.9 km/h y al final de 79.4 km/h con una variación de 11.1 km/h; por último, los vehículos de carga (C) comienza con una velocidad promedio de 58.7 km/h y finalizan con una velocidad de hasta 73.1 km/h con una variación de aproximadamente 11 km/h; sin embargo, la velocidad máxima registrada al final del tramo para cada tipo de vehículo es la siguiente: Para vehículos ligeros (A)

se registró una velocidad de 103.3 km/h, para autobuses (B) fue de 96.9 km/h y para vehículos de carga se alcanzan hasta los 94.5 km/h, tal y como se puede observar en la Imagen 45.

8 CARR: México - Toluca		CLAVE: 00447												RUTA: MEX-015				AÑO: 2021	
LUGAR		ESTACION				VELOCIDAD AUTOS (km/h)				VELOCIDAD AUTOBUSES (km/h)				VELOCIDAD CAMIONES (km/h)				COORDENADAS	
		KM	TE	SC	TDPA	Promedio	P 85	P 98	δ	Promedio	P 85	P 98	δ	Promedio	P 85	P 98	δ	Latitud	Longitud
Ent. Constituyentes y Reforma		12.84	3	2	42250	68.8	74.6	84.9	9.4	54.2	71.1	81.6	17.3	53.6	66.5	77.1	12.4	19.385040	-99.248615
T. Der. Cuajimalpa (1º Acceso)		20.56	1	1	38502	65.7	73.3	84.4	9.9	63.6	69.9	80.2	7.6	60.0	72.3	83.6	12.1	19.364457	-99.277636
T. Der. Cuajimalpa (1º Acceso)		20.56	1	2	39251	64.0	78.2	92.0	12.7	63.3	75.3	92.8	11.5	56.1	72.1	94.2	16.3	19.364384	-99.277607
T. Izq. Desierto de Los Leones		23.96	1	1	38913	58.8	63.0	73.8	7.1	57.8	62.4	71.7	7.0	54.2	60.4	74.2	7.9	19.338818	-99.311285
T. Izq. Desierto de Los Leones		23.96	1	2	40416	68.6	73.5	83.7	7.6	64.6	71.6	81.7	8.3	53.5	59.5	73.8	8.0	19.338954	-99.311181
Lim. Edos. Term. CDMX Ppia. Méx.		33.44																	
T. Der. Huixquilucan Inicio		33.98	1	1	29735	68.6	79.3	92.0	12.7	65.9	74.0	87.5	11.1	58.7	65.7	74.5	7.2	19.295856	-99.359727
T. Der. Huixquilucan		33.98	1	2	24517	60.5	64.1	74.7	8.0	54.6	61.5	78.6	8.9	54.4	62.1	81.3	9.5	19.295784	-99.359698
T. C. Constituyentes - La Marquesa (Cuota)		35.28																	
T. C. La Marquesa - Lerma (Cuota)		36.98																	
X. C. Amomulco - Stgo. Tianguistenco Final		47.26	1	1	57310	80.7	87.9	103.3	9.9	79.4	89.0	96.9	11.1	73.1	84.4	94.5	13.5	19.282564	-99.477482
X. C. Amomulco - Stgo. Tianguistenco		47.26	1	2	52228	70.5	83.2	103.3	12.4	64.3	77.0	91.8	11.7	60.5	70.9	83.3	11.6	19.281794	-99.484732
T. Der. Lerma - Izq. San Pedro Tultepec		51.71	1	1	75929	61.3	71.1	86.0	11.7	67.7	89.8	112.0	22.2	60.2	77.7	103.3	16.0	19.283855	-99.504848
T. Der. Lerma - Izq. San Pedro Tultepec		51.71	1	2	73228	82.6	99.9	117.2	17.2	72.1	92.4	111.5	19.5	65.9	79.2	102.5	13.5	19.280281	-99.503105
T. Izq. San Mateo Atenco (Alta)		52.00	3	1	68365	84.3	94.7	111.4	11.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.285882	-99.535357
T. Izq. San Mateo Atenco (Baja)		52.00	3	1	18543	60.0	69.3	83.3	11.0	49.1	55.9	70.2	9.1	47.0	53.2	64.4	8.2	19.286316	-99.535273
T. Izq. San Mateo Atenco (Baja)		52.00	3	2	16644	54.3	63.8	79.0	10.7	50.3	58.5	72.8	10.1	45.8	53.3	65.6	10.0	19.285284	-99.535869
T. Izq. San Mateo Atenco (Alta)		52.00	3	2	73080	89.3	103.0	119.5	14.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.285556	-99.535841
X. C. Libramiento de Toluca (Baja)		62.20	1	1	13128	52.6	58.2	69.8	7.6	54.4	65.3	76.1	13.6	42.4	49.1	64.5	8.7	19.288420	-99.618985
X. C. Libramiento de Toluca (Alta)		62.20	1	1	83469	89.6	96.6	108.0	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.288073	-99.619907
X. C. Libramiento de Toluca (Alta)		62.20	1	2	78546	80.6	89.1	100.3	9.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.287683	-99.617678
X. C. Libramiento de Toluca (Baja)		62.20	1	2	12229	58.8	62.8	72.9	7.2	51.6	61.2	72.8	9.7	61.0	68.0	74.6	9.3	19.287564	-99.623521
Toluca		66.00																	

Imagen 45. Velocidades de punto en carretera México – Toluca, año 2021.

Por los datos anteriormente descritos, la pendiente descendente es un factor que contribuye al aumento de la velocidad en los vehículos, dado que en los tramos previos se mantiene una velocidad promedio por debajo de los 70 km/h para los tres tipos de vehículos, y donde la velocidad máxima registrada es de 85 km/h en el caso de los vehículos ligeros y 77 km/h para vehículos de carga, de modo que el usuario mantiene una velocidad constante debido a pendientes ascendentes a lo largo del tramo previo, una vez llegado al punto de máxima altitud en el km 34+200 se inicia con una pendiente descendente que naturalmente aumenta la velocidad de los vehículos al grado de exceder el límite de velocidad establecido; si a los vehículos de carga le sumamos la condición más crítica de circular con cargamento de productos a su máxima capacidad, como suele suceder, el uso de los sistemas de frenado para mantener una velocidad constante por debajo de la restringida durante el tránsito en el tramo no es una opción conveniente ya que los llevara a una condición de “desvanecimiento” o pérdida de efectividad rápidamente, por lo que recurren al uso de otros sistemas de frenado que de igual manera están sujetos a fallos, así mismo, de acuerdo a la Cámara Nacional del Autotransporte de Carga (CANACAR) el promedio de antigüedad de la flota vehicular del autotransporte de carga en México se encuentra entre los 17 años^[14], algunos fabricantes de automóviles como Toyota opinan que la duración promedio de un automóvil para encontrarse en condiciones óptimas de circulación es de 10 años^[15], y que esto dependerá del uso del vehículo y de la frecuencia con la que lleves a cabo el mantenimiento, de manera que debido al uso y al mantenimiento superficial de las unidades para disminuir los costos de operación por cada

[14] Antigüedad de la flota vehicular del autotransporte de carga, Cámara Nacional del Autotransporte de Carga (CANACAR), obtenido de: <https://canacar.com.mx/stat/antiguedad-la-flota-vehicular-del-autotransporte-carga/>

[15] ¿Debería cambiar de coche cada 10 años?, Toyota España, 2021,

viaje realizado, se sacrifica la seguridad del conductor, y que de acuerdo con lo presentado previamente se considerará que la edad del parque vehicular forma parte de los factores que contribuyen al acontecimiento de siniestros de tránsito, al menos donde un vehículo de carga se vea implicado.

En resumen, por los factores expuestos previamente (Camino, Humano y Vehículo) el tramo en estudio se considera un lugar de alta siniestralidad, habiéndose registrado más de un siniestro vial por año, atribuibles al exceso de velocidad con probabilidad de que algunos hayan sido causados por falla en el sistema de frenado, y con saldos de personas fallecidas y víctimas lesionadas, por lo tanto cumple con el requisito establecido en la NOM-036-SCT2-2016, consistente a la ocurrencia anual de un accidente fatal, causado por vehículos sin frenos o que los accidentes causados por los vehículos sin frenos hayan resultado en colisiones con otros vehículos o con instalaciones ocupadas por otras personas. Por lo tanto, la construcción de la rampa de emergencia para frenado fue necesaria

Para el análisis de la ubicación de la rampa se utilizará como referencia el requisito establecido en la NOM-036-SCT2-2016, el cual nos establece que: *“por efecto del alineamiento vertical descendente, los vehículos con los frenos dañados puedan acelerarse a velocidades mayores que las toleradas por el alineamiento horizontal o hasta ciento cuarenta kilómetros por hora”*; partiendo desde la velocidad restringida de 80 kilómetros por hora al final del tramo donde la pendiente registrada es del 0% ubicado desde el km 35+740 al km 36+260, suponiendo que en este tramo se mantendrá constante la velocidad de 80 km/h ya que la velocidad del vehículo no se verá afectada por efectos de la pendiente descendente, utilizaremos entonces la expresión indicada en la fracción 6.2.3 de la NOM-036-SCT2-2026 para el cálculo de la velocidad de entrada a una rampa de emergencia para frenado:

$$Ve = (Vp^2 - 254 \sum_{i=1}^n Lp_i (R_p + (P_i))^{1/2} \quad \text{donde;}$$

Ve = Velocidad de entrada a la rampa, en kilómetros por hora.

Vp = Velocidad de operación o, para carreteras nuevas la velocidad de proyecto, en el sitio donde inicie el tramo con pendientes descendentes continuas o en el sitio de entrada a una rampa cuando se proyecte otra subsecuente, en kilómetros por hora.

n = Número de subtramos con pendientes descendentes diferentes, que integran el tramo para el que se proyecta la rampa, (adimensional)

Ve = Velocidad de entrada a la rampa, en kilómetros por hora.

Lp_i = Longitud del subtramo i con pendiente descendente P_i , en metros.

R_p = Resistencia a la rodadura de la superficie del pavimento, 0.010 cuando la carpeta sea de concreto hidráulico ó 0.012 cuando sea asfáltica. (adimensional, expresada en términos de pendiente equivalente)

P_i = Pendiente descendente (negativa) del subtramo i de longitud Lp_i , en metro/metro, (adimensional)

De acuerdo al perfil longitudinal obtenido mediante las curvas de nivel y el perfil de elevaciones del software Google Earth, los tramos se dividirán de la siguiente manera:

Tramo	Pendiente (%)	Longitud (en metros)
36+260 – 36+400	5	140
36+400 – 36+740	2.5	340
36+740 – 36+940	-2	200
36+940 – 37+280	-4.35	340
37+280 – 37+440	-7.5	160
37+440 – 38+240	-6.1	800
38+240 – 38+820	-5.3	580
38+820 – 39+220	-5.75	400
39+220 – 40+000	-6.1	780

Para la velocidad de operación (V_p), se tomará la velocidad restringida en el tramo de 80 km/h, por lo que este mantendrá un valor constante en los cálculos, así como el valor de la resistencia a la rodadura la cual tomará el valor de 0.012 al ser una carpeta asfáltica, y se tendrán variaciones en la pendiente (P_i) y la longitud de la pendiente, quedando la expresión de la siguiente manera:

$$V_e = (80^2 - 254 \sum_{i=1}^n L p_i (0.012 + (P_i))^{1/2}$$

Para el primer tramo:

$$V_e = (80^2 - 254 \sum_{i=1}^n 140 (0.012 + (0.05))^{1/2} \rightarrow V_e = \left(6400 - 254 \sum_{i=1}^n 140 (0.062) \right)^{1/2}$$

$$V_e = (6400 - 254 * (8.68))^{1/2}$$

$$V_e = 64.77 \frac{km}{h}$$

De este primer tramo, se observa una disminución de la velocidad, este comportamiento es debido a la resistencia de rodadura y la pendiente ascendente, por lo que la expresión antes mencionada obtiene las velocidades tanto para pendientes descendentes como ascendentes; sin embargo, no considera la aceleración propia del usuario, el cual puede mantener la velocidad restringida aun cuando se encuentra en una pendiente ascendente, así mismo en pendientes descendentes no se considera la aceleración a voluntad del usuario, por lo que la expresión se limita a suponer que el

vehículo el cual tiene problemas en el sistema de frenado no ejercerá presión sobre el acelerador y únicamente actuarán las fuerzas propias del vehículo y las pendientes del camino.

Calculando las velocidades en los siguientes dos tramos se tiene que:

$$V_e = (6400 - 254 * (8.68 + 12.58 - 1.6))^{1/2} \rightarrow V_e = 37.5 \frac{km}{h}$$

$$\textbf{Tramo 1: } 140 * (0.012 + 0.05) \rightarrow 140 * (0.062) \rightarrow 8.68$$

$$\textbf{Tramo 2: } 340 * (0.012 + 0.025) \rightarrow 340 * (0.037) \rightarrow 12.58$$

$$\textbf{Tramo 3: } 200 * (0.012 - 0.02) \rightarrow 200 * (0.008) \rightarrow -1.6$$

Por lo que para el punto del kilómetro 36+940 se alcanzará una velocidad de treinta y siete punto cinco kilómetros por hora (37.5 km/h) bajo las consideraciones antes mencionadas; obsérvese que cuando la pendiente es descendente se obtendrá un valor negativo, por lo que sumará velocidad a la velocidad inicial de la expresión, en cambio, cuando se tiene una pendiente ascendente el valor positivo restará un valor a la velocidad inicial.

Estrictamente, para sustentar el proyecto ejecutivo de una rampa de emergencia para frenado con el criterio de la velocidad máxima permitida, se deberá iniciar el cálculo en el punto donde se inicia con la pendiente descendente, siendo este punto el ubicado en el km 34+200, no obstante, para este trabajo se tomará en consideración que el tramo iniciado en el km 36+260 y con termino en el km 36+740, es suficiente para que los vehículos retomen la velocidad restringida de 80 km/h, ya que en este tramo se cuentan con diversos establecimientos con entradas y salidas de vehículos, así como una pendiente ascendente que permitiría a un vehículo disminuir su velocidad con simplemente el uso del denominado “Freno motor”. Por lo anterior, el análisis de la velocidad de entrada a la rampa iniciará en el km 36+740 donde comienza nuevamente una pendiente descendente sostenida de al menos 7 kilómetros de longitud.

Iniciando el análisis en el km 36+740 y obteniendo los puntos donde se alcanza una velocidad de 140 km/h, se muestran en la siguiente tabla los sitios donde se alcanza esta velocidad máxima permitida:

Tabla 14.

Sitios de la carretera México - Toluca donde se alcanza la velocidad máxima de 140 km/h.

Tramo	Pendiente (%)	Longitud (m)	Velocidad alcanzada (km/h)
36+740 – 36+940	-2	200	82.5
36+940 – 37+280	-4.35	340	97.61
37+280 – 37+440	-7.5	160	109.94
37+440 – 38+050	-6.1	610	140.28
38+050 – 38+240	-6.1	190	93.62
38+240 – 38+820	-5.3	580	121.68
38+820 – 39+220	-5.75	400	139.38
39+220 – 39+235	-6.1	15	140.05
39+235 – 40+000	-6.1	765	126.18

Nota. Elaboración propia.

Del tramo en estudio, se tiene que la velocidad de 140 km/h es alcanzada en dos puntos de la pendiente descendente, en el km 38+050 y km 39+235, de estos dos puntos:

- El punto ubicado en el km 38+050, se encuentra al inicio de la cuarta curva horizontal del tramo (PI-4), con grado de curvatura de $3^{\circ}25'50''$ y una longitud de 400 metros, el diseño de la curva contempla una velocidad de proyecto de 60 km/h, por lo que hace imposible la construcción de una rampa de emergencia para frenado en este sitio debido al grado de curvatura y el relieve en el sitio, asimismo, no se cuenta con el espacio suficiente para la construcción de una rampa ya que con una salida izquierda se invadiría el trazo de la autopista México – Toluca Ruta MEX-015D, y por el lado derecho a propiedades privadas establecidas, así como a sus accesos.
- El punto ubicado en el km 39+235, está contenido en un tramo en tangente, entre las curvas seis (PI-6) y siete (PI-7) del tramo en estudio, por el lado izquierdo se tiene aproximadamente un espacio, entre el derecho de vía de la autopista y el hombro de la carretera libre, de aproximadamente nueve metros (9 m), sin embargo, está ocupado por obras de drenaje y un talud que divide ambas vialidades, por lo que hace este espacio inutilizable para la construcción de una rampa de emergencia para frenado; por el lado derecho, se tienen accesos a predios y dentro del derecho de vía se encuentra instalada infraestructura para el suministro de energía eléctrica de las localidades aledañas, situación que dificulta la construcción de la rampa (Obsérvese Imagen 46).

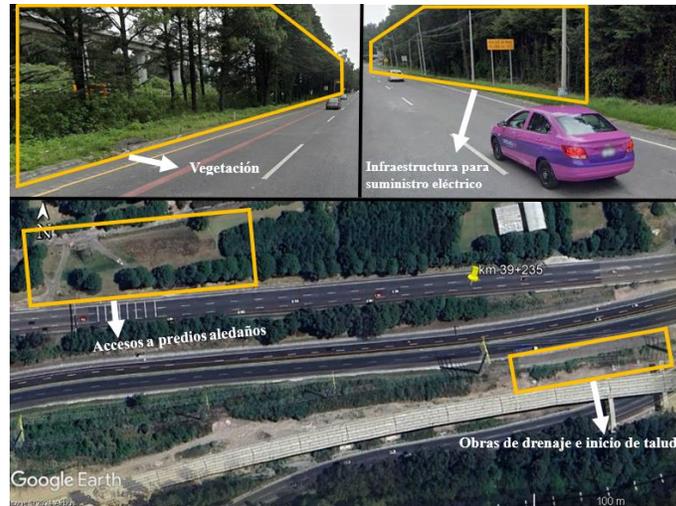


Imagen 46. Entorno del punto ubicado en el km 39+235 por Google Earth.

De lo anterior, no se tiene el espacio suficiente para la construcción de una rampa de emergencia para frenado en los sitios donde el análisis de velocidad obtuvo los 140 km/h, por lo que se buscarían otras opciones de ubicación que tengan el espacio suficiente para la construcción de la rampa de emergencia para frenado, las opciones propuestas pueden ser en kilómetros previos, o en su caso, posteriores a los sitios analizados; asimismo, los sitios que sean propuestos deberán contar con el espacio suficiente para la construcción de la rampa y teniendo en consideración que el ángulo de entrada deberá ser menor a los 5° grados de inclinación respecto al eje de la carretera.

El actual acceso a la rampa fue colocado quinientos sesenta y cinco metros (565 m) posteriores al punto donde se alcanzan los ciento cuarenta kilómetros por hora (140 km/h), por lo que se puede considerar que fue realizado el mismo análisis de la velocidad para la obtención de la ubicación de la rampa, así mismo esta ubicación se puede sustentar con base a la accidentabilidad en el sitio donde en años previos a su construcción se registraban hasta 12 siniestros en el año con mayor siniestralidad. La velocidad con la que se espera llegar a este punto es de aproximadamente ciento sesenta kilómetros por hora (160 km/h), superando a la máxima permitida por veinte unidades, sin embargo, la rampa de emergencia para frenado deberá considerar para su diseño la velocidad máxima permitida de diseño que son los ciento cuarenta kilómetros por hora (140 km/h).

Para la determinación de la Longitud Efectiva si se utiliza una pendiente uniforme se aplica la siguiente expresión:

$$Le = \frac{Ve^2}{254(R_m + Sl)} ; \text{donde}$$

Le = Longitud efectiva de la cama de frenado, en metros.

Ve = Velocidad de entrada a la rampa, en kilómetros por hora.

R_m = Resistencia a la rodadura del material con que se formará la cama de frenado, adimensional.

SI = Pendiente de la cama de frenado, positiva si es ascendente o negativa si es descendente, en metro/metro, (adimensional)

Como fue mencionado en el Capítulo IV, para el caso donde se diseñe una rampa de frenado de emergencia con pendientes variables, se debe determinar la velocidad del vehículo en cada cambio de pendiente, hasta tener una longitud suficiente para detener el vehículo fuera de control; en México, no se tiene registro de rampas construidas con esta configuración.

De acuerdo al programa denominado “Evaluación de rampas de emergencia para frenado”, que es llevado a cabo en la Dirección General de Servicios Técnicos, en este programa se evalúan las características de los elementos que componen una rampa de emergencia para frenado ya construida en la Red Carretera Federal; para nuestro caso de estudio, la rampa existente fue diseñada con una pendiente uniforme de 1.3%, la cual consiste en una rampa de tipo RE-4 Ascendente; este tipo de rampa tiene la particularidad de requerir una menor longitud para detener un vehículo, por lo que para su diseño no requiere de un gran espacio para el desarrollo adecuado de su longitud. Considerando que el diseño de la actual rampa fue una velocidad de proyecto máxima de 140 km/h, con una cama de frenado de pendiente ascendente de 1.3% y un factor de resistencia a la rodadura de 0.250 para la gravilla uniforme suelta, siendo el tipo de material más eficaz para la detención del vehículo, este factor es obtenido de acuerdo a la NOM-036-SCT2-2016 Tabla 4 *Resistencia a la rodadura* y de la que ya se ha hecho referencia previamente; sustituyendo los datos en la expresión obtenemos que:

$$Le = \frac{140^2}{254(0.250 + (0.013))} \rightarrow Le = \frac{19600}{254(0.263)} \rightarrow Le = \frac{19600}{66.802} \quad \circ Le = 293.40 \text{ m}$$

La longitud efectiva de la cama de frenado para detener al vehículo de manera controlada y efectiva es de doscientos noventa y tres punto cuatro metros (293.4 m); sin embargo esta longitud no es la definitiva ya que para el cumplimiento con la NOM-036-SCT2-2016, la longitud total de la cama de frenado (L_L) debe ser veinticinco por ciento mayor que su longitud efectiva (Le) calculada, por lo que para su cálculo se realiza lo siguiente:

$$L_L = 1.25 * Le \rightarrow L_L = 1.25 * 293.40$$

$$\underline{L_L = 366.75 \text{ m}}$$

Para el diseño conforme a la normativa, la longitud total de la cama de frenado deberá ser de trescientos sesenta y seis punto setenta y cinco metros (366.75 m), considerando una velocidad de entrada de 140 km/h, una pendiente ascendente de 1.3% y el material más eficaz para la detención de los vehículos.

En los casos donde no se cuente con el espacio suficiente para el desarrollo total de la longitud, la normativa considera adecuado complementar la rampa de emergencia para frenado con otros dispositivos para su adecuada detención siendo posible el uso de dispositivos que:

- Mediante pruebas a escala real, hayan mostrado su efectividad para detener los vehículos sin dañar a sus ocupantes, estos pueden ser formados con tambores de plástico rellenos hasta la altura y con el material especificados por el fabricante, ubicados en un punto de la cama en el cual el impacto que se produzca sea a una velocidad menor de veinte kilómetros por hora (20 km/h).
- Otros dispositivos probados a escala real que hayan mostrado su efectividad para detener los vehículos sin dañar a sus ocupantes.

Asimismo, se permite el uso de montículos del mismo material utilizado en la cama de frenado, con características geométricas específicas, una altura de setenta centímetros (70 cm) y tres metros (3 m) de base, con taludes de dos a uno (2:1), ubicados en un punto de la cama en el cual el impacto que se produzca sea una velocidad menor de cuarenta kilómetros por hora (40 km/h).

De acuerdo a lo obtenido en el programa de “Evaluación de rampas de emergencia para frenado”, llevado a cabo en la Dirección General de Servicios Técnicos, actualmente de la rampa construida se reporta lo siguiente: la cama de frenado tiene una longitud total de ciento cuarenta y siete metros (147 m), muy por debajo de la longitud efectiva y total obtenida de acuerdo a la normativa, y un ancho de diez punto cinco metros (10.5 m), por un lado la longitud no cumple de acuerdo a las especificaciones de diseño de la NOM-036-SCT2-2016 pero si cumple con el ancho de la cama de frenado, así mismo el ángulo de entrada a la rampa es mayor a los cinco grados máximos permitidos, teniéndose un ángulo de cinco punto un grados (5.1°) y un ancho del camino de servicio de tres punto ocho metros (3.8 m), características geométricas que no cumplen con la normativa vigente.

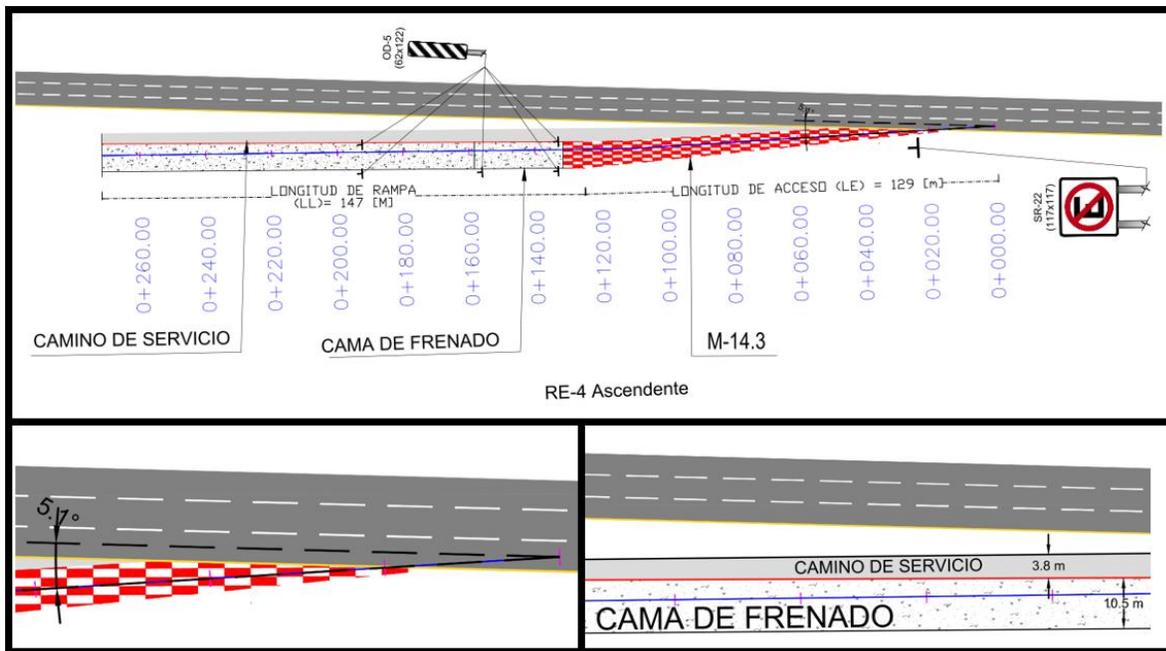


Imagen 47. Características geométricas de la rampa de emergencia existente

La cama de frenado no cumple en su totalidad con lo establecido en la normativa vigente, ya que el material de la cama de frenado debe ser colocado a volteo en una caja en la terracería de la rampa con taludes de dos tercios a uno y una profundidad igual que el espesor de la cama, asimismo, para una adecuada desaceleración el espesor de la cama de frenado al inicio debe ser de diez centímetros (10 cm), y el espesor aumentará uniformemente hasta alcanzar el espesor de diseño.

La rampa de emergencia actual no tiene un cajón que almacene el material granular de la cama de frenado, por lo que no se tiene una profundidad de la cama de frenado, ya que el material se encuentra esparcido y acumulado sobre una superficie de rodamiento, el espesor de la cama de frenado inicia desde los diez centímetros (10 cm) y a lo largo de la cama de frenado se desarrolla hasta un espesor de diseño de ochenta y cinco centímetros (85 cm) al final de la cama de frenado, criterio que cumple con la normativa respecto al crecimiento gradual del espesor de la cama de frenado.

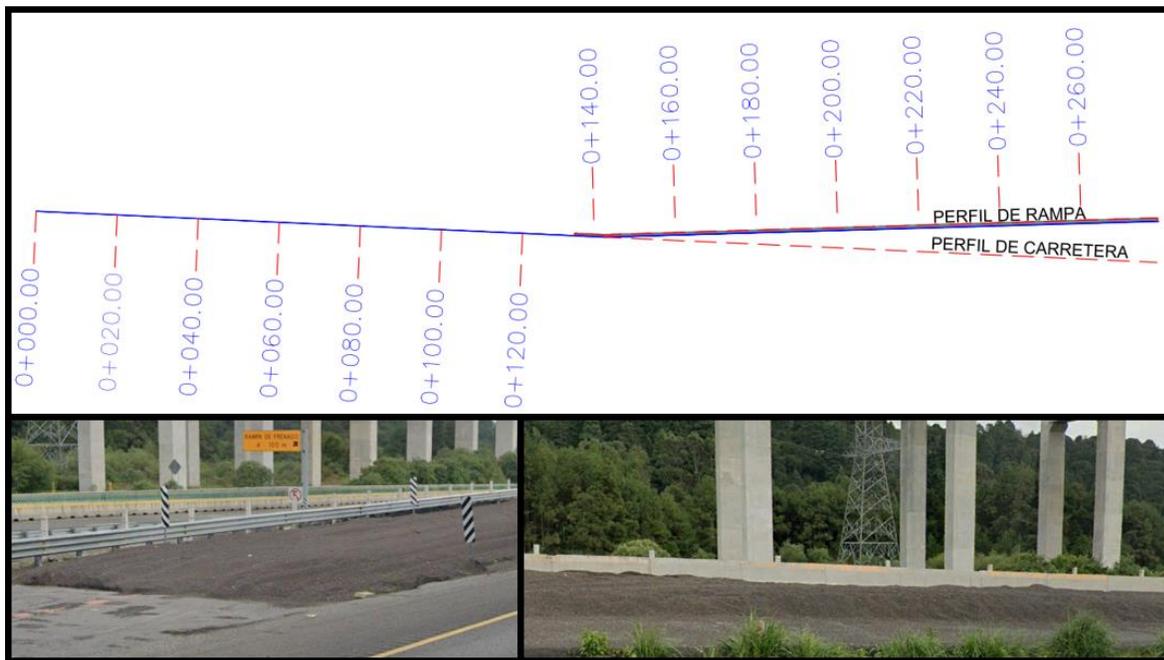


Imagen 48. Perfil longitudinal de rampa de emergencia para frenado y cama de frenado, km 39+800.

Otra de las carencias en la rampa de emergencia para frenado es el drenaje en la cama de frenado; el sistema de drenaje y subdrenaje permite captar y drenar el agua de lluvia, así como los escurrimientos superficiales, a fin de evitar la compactación del material de la cama de frenado; la rampa que actualmente opera en el tramo no cuenta con alguno de los sistemas antes mencionados, por lo que aumenta el riesgo a la compactación del material lo que provocaría que

en caso de una colisión, desacelere el vehículo con mayor fuerza y dañando o aprisionar a los ocupantes dentro del habitáculo.

Con las características antes mencionadas, tales como su longitud y ancho de la cama de frenado, y considerando que se cuenta con una calidad de los materiales adecuada, así como mantenimientos constantes a los elementos que conforman la cama de frenado; se calculará la velocidad final con la que se llega al final de la cama de frenado, suponiendo una velocidad de entrada máxima de ciento cuarenta kilómetros por hora (140 km/h):

$$VF_j^2 = VI_j^2 - 254 L_j(R \pm S_j)$$

VF_j = Velocidad final al término del subtramo j que se analiza de la cama de frenado (km/h)

VI_j = Velocidad inicial en el subtramo j que se analiza de la cama de frenado, que corresponde, para el primer subtramo, a la velocidad de entrada (V_e) calculado como se indica en la Ecuación (1), y para los subtramos subsecuentes, a la velocidad final calculada para el subtramo $j - 1$ (VF_{j-1}) inmediato anterior (km/h).

L_j = Longitud efectiva del subtramo j que se analiza de la cama de frenado (m).

R = Resistencia a la rodadura del material con que se formará la cama de frenado, de acuerdo a la tabla XX.

S_j = Pendiente de la cama de frenado en el subtramo j, positiva si es ascendente o negativa si es descendente, en metro/metro, (adimensional)

$$VF_j^2 = 140^2 - 254 * 147(0.250 + 0.013)$$

$$VF_j^2 = 19600 - 254 * 147(0.263) \rightarrow VF_j^2 = 19600 - 254 * 38.661$$

$$VF_j^2 = 19600 - 9819.894 \rightarrow VF_j^2 = 9780.106 \rightarrow VF_j = \sqrt{9780.106}$$

$$\underline{VF_j = 98.89 \text{ km/h}}$$

De acuerdo a los cálculos realizados; la velocidad a la que se llega al final de la cama de frenado es de noventa y ocho punto ochenta y nueve kilómetros por hora (98.89 km/h), por lo que la longitud de la cama de frenado no es suficiente para la disminución de la velocidad a por lo menos veinte kilómetros por hora (20 km/h) para añadir un montículo del mismo material granular y asegurar la detención segura y eficaz del vehículo, sin embargo, la rampa en operación cuenta con una barrera de concreto al término de la cama de frenado para evitar la salida de los vehículos al acceso a la rampa de emergencia ubicada en la autopista de cuota; esta práctica pone en peligro a los usuarios de la rampa de emergencia ya que como fue calculado, la velocidad con la que se llega al final de la cama de frenado, suponiendo que su velocidad de entrada sea de ciento cuarenta kilómetros por hora (140 km/h) y condiciones de carga ideales, es de por lo menos noventa y cinco kilómetros por hora (95 km/h) la cual es una condición que en caso de impactar la barrera de concreto se tienen altas probabilidades de que los pasajeros puedan sufrir lesiones al interior de la cabina debido a la detención del vehículo, asimismo, no se asegura que las barreras detengan al vehículo en su totalidad por lo que se tiene la posibilidad de que los vehículos salgan de la cama de frenado en caso de que las barreras de concreto no sean bien instaladas; cabe recalcar que de acuerdo al inciso 6.3.2.4.1 de la NOM-037-SCT2-2016 se

considera que: “... para impedir que los vehículos salgan de la rampa, la cama de frenado se debe complementar con un dispositivo que permita detener el vehículo en forma segura”.



Imagen 49. Perspectiva de diferentes ángulos del término de la cama de frenado, desde la carretera libre de peaje México – Toluca (arriba), desde la autopista de cuota México – Toluca (abajo)

Por lo anterior; la geometría de la rampa, así como las características de la cama de frenado y los sistemas complementarios, no cumplen con lo establecido en la NOM-037-SCT2-2016, siendo un peligro para aquellos usuarios que circulen sobre la autopista de cuota o los usuarios que usen este dispositivo de seguridad, ya que en caso de no disminuir su velocidad durante la entrada a la cama de frenado, se tiene la posibilidad de impactar una barrera de concreto a una velocidad mayor a los cuarenta kilómetros por hora (40km/h) y sufrir lesiones dentro del vehículo o salir del camino.

Con respecto al señalamiento; el diseño del señalamiento de una rampa de emergencia para frenado comprende tanto el señalamiento horizontal como el señalamiento vertical previo a la rampa, adicionalmente al señalamiento estándar o normal de la carretera; por lo que el señalamiento deberá ser integrado de manera que no se descuiden los aspectos geométricos más importantes del camino y tampoco de informar al usuario de las acciones necesarias para la entrada a la rampa de emergencia para frenado.

Como había sido mencionado en el Capítulo IV, el señalamiento para la entrada a la rampa de emergencia para frenado se encuentra normado por la NOM-036-SCT2, para cualquier modificación a este señalamiento se deberá ser notificar a la autoridad responsable de la conservación del camino donde será instalado y este mismo deberá aprobar su instalación conforme al proyecto entregado. Para el caso de estudio, en el tramo se tiene una particularidad la cual consiste en tener instalado una gran cantidad de señalamiento vertical así como de carteles de publicidad de los comercios, contrario a lo usualmente se puede observar en otras carreteras del país donde el señalamiento vertical es mínimo, esta condición provoca una aglomeración de señalética para el usuario, la cual pierde su función de prevención y advertencia, y considerándose

ahora como una distracción para el usuario, el cual tiene que leer todos los mensajes en un tiempo reducido, asimismo una gran cantidad de señalamiento vertical provoca en un usuario inexperto confusión al no saber cuál es la señal de mayor importancia y dando lugar a un posible siniestro vial.

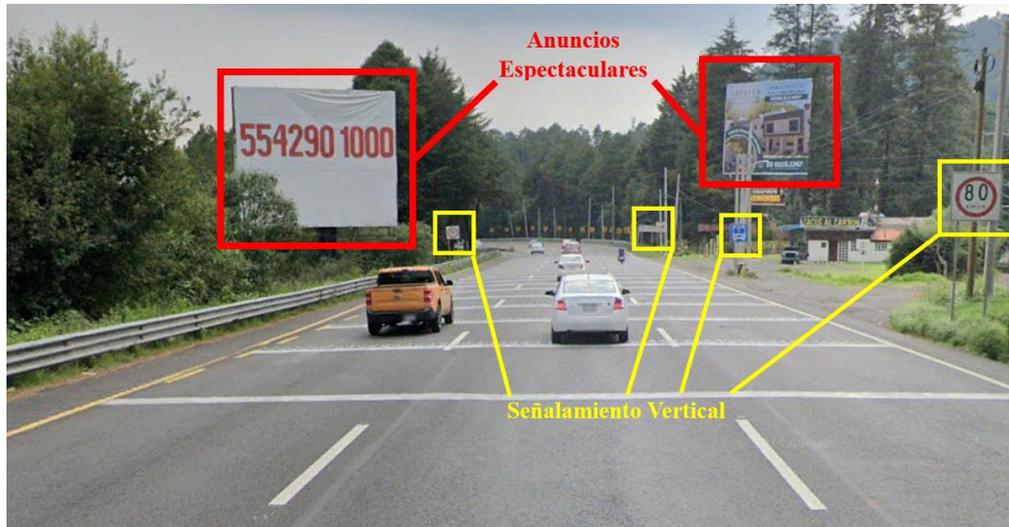


Imagen 50. Señalamiento vertical en conjunto con anuncios espectaculares, km 37+680

Además, si a la condición anterior añadimos las condiciones geométricas adversas, al contar con tramos en tangente muy cortos, así como velocidades superiores a las restringidas debido a la propia pendiente descendente, la integración del señalamiento para el acceso a la rampa de emergencia para frenado se vuelve un tema complejo ya que conllevaría además un reacomodo de todo el señalamiento existente instalado así como de la eliminación de algunos anuncios espectaculares, por lo que se esperaría que en el proyecto ejecutivo realizado para la reubicación de la rampa en el año 2015 considerará estas necesidades y realizaría las adecuaciones pertinentes para su integración armónica con el señalamiento definitivo de la carretera, advirtiendo de manera eficiente al conductor de los peligros potenciales en el trazo del camino, así como de guiar adecuadamente a un vehículo que se encuentre con desvanecimiento en el sistema de frenado; recordemos que conforme a lo mencionado en el Capítulo IV *“los señalamientos juegan un papel de suma importancia, ya que su presencia es fundamental para las personas usuarias ya que tienen la función de transmitir información específica a quienes transitan por la carretera”*.

De la revisión del señalamiento vertical únicamente para el acceso a la rampa de emergencia para frenado ubicada en el km 39+800 se tienen las siguientes observaciones:

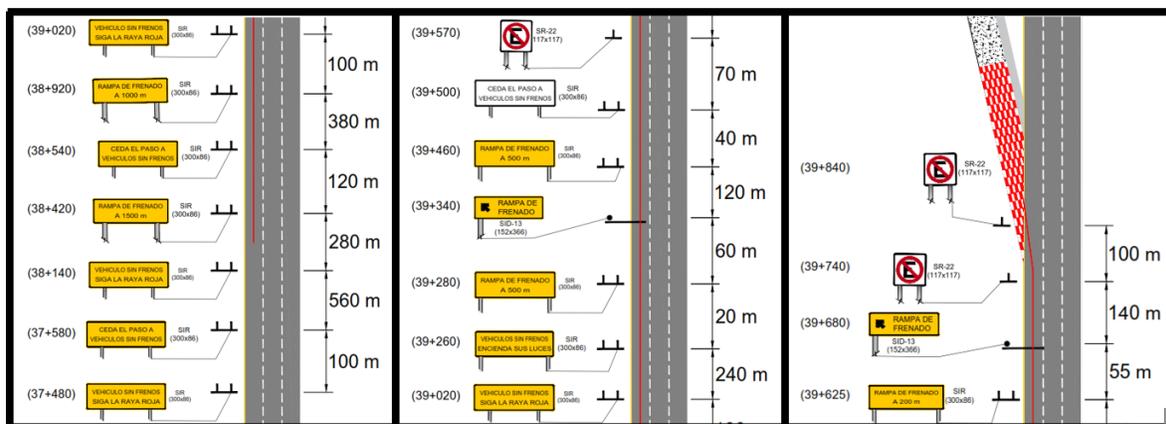
- No se cumplen con las distancias entre señales indicadas en la normativa vigente; esto es, las señales instaladas en el tramo del km 37+260 al km 39+800 se encuentran con variaciones entre los quinientos sesenta metros (560 m) a los veinte metros (20 m), lo cual, conforme a la NOM-036-SCT2-2016 la cual establece como una distancia mínima entre algunas señales al menos cien metros (100 m), así mismo conforme a la normativa en

materia de señalamiento que se encontraba vigente la NOM-034-SCT2-2011, el señalamiento no cumplía con el espacio entre señales para una velocidad de operación de ochenta kilómetros por hora (80 km/h) la cual establece una distancia mínima de separación de ciento cuarenta metros (140 m), como puede observarse en la Figura 19 donde mediante un croquis se realizó el levantamiento del señalamiento existente junto a su cadenamamiento.

- El número de señales es excesivo y no siguen los lineamientos de acuerdo a lo establecido en la NOM-036-SCT2-2016; esto es, fueron contabilizados 15 señales previas al acceso de la rampa de emergencia para frenado, de acuerdo a la norma deberán ser colocadas al menos 9 señales, el número de señales podrá ser modificado de acuerdo a las necesidades del tramo, sin embargo, el señalamiento instalado en el tramo de estudio es redundante y satura el campo de visión del usuario que probablemente se encuentra en un estado de pánico, como ejemplo, la señal SIR “Vehículo sin frenos siga la raya roja” se encuentra tres veces a lo largo del tramo en el km 37+480, km 38+140 y km 39+020.
- La señal SIR “Ceda el paso a vehículos sin frenos” con fondo blanco no cumple con lo indicado en la normativa ya que debería ser instalado con fondo amarillo.
- Al inicio de la pendiente descendente se requiere la instalación de la señal SIR “Vehículos sin frenos alerte con luces y claxon”, la cual no fue instalada en esta rampa, sin embargo, fue instalada tres veces la señal SIR “Vehículo sin frenos siga la raya roja” la cual se debe instalar cien metros (100 m) posteriormente a la primera señal SIR antes referida.
- Algunas señales se encuentran instaladas dentro de curvas horizontales, lo cual no es lo apropiado ya que pueden considerarse como un obstáculo o riesgo potencial de colisión en caso de que un vehículo salga del camino, y en casos menos extremos, las señales instaladas dentro de una curva horizontal pierden visibilidad para el usuario ya que su enfoque va dirigido al trazo de la curva.

Figura 19.

Croquis de señalamiento para el acceso a la rampa de emergencia para frenado km 39+800.



Nota. Elaboración propia

Por otro lado, el señalamiento horizontal de la rampa de emergencia para frenado no cumple totalmente conforme a lo establecido en la NOM-036-SCT2-2016, ya que no se cuenta con las tres marcas necesarias y establecidas en la norma, estas son: Raya de emergencia para frenado discontinua (M-14.1), Raya de emergencia para frenado continua (M-14.2) y Marca para indicar el acceso a una rampa de emergencia para frenado (M-14.3), siendo únicamente instaladas dos de las tres antes mencionadas, faltando por instalar la marca M-14.1 la cual se instala desde el inicio de la pendiente descendente continua; por lo tanto del señalamiento horizontal que si fue instalado en el tramo se tiene que: la raya M-14.2 se encuentra en mal estado, esto puede deberse a las condiciones climatológicas y propias del desgaste con el paso de los vehículos, por lo que es necesario su mantenimiento, de la misma forma para las marcas M-14.3 del acceso a la rampa de emergencia que se encuentran en la misma situación de desgaste.

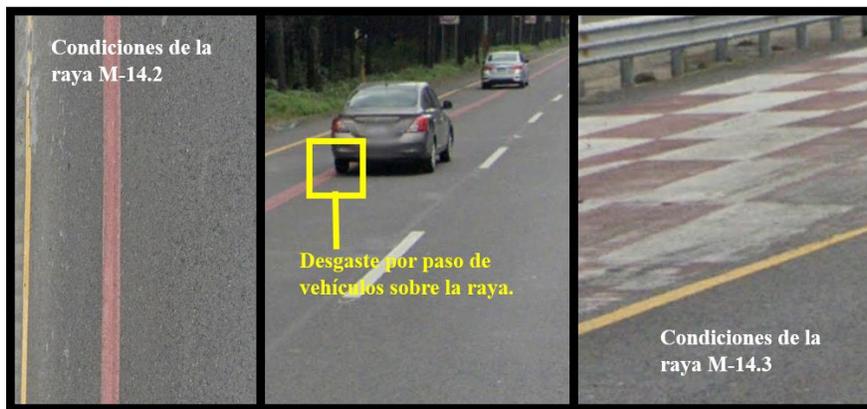


Imagen 51. Condiciones del señalamiento horizontal instalado.

Por último, la rampa de emergencia para frenado no cuenta con los sistemas de iluminación para la cama de frenado así como con los sistemas de cámaras de detección de incidentes, los cuales se encuentran establecidos en la NOM- 036-SCT2-2016, quizás por el hecho de que su reubicación fue realizada en el año 2015 y aún no se contemplaban estos sistemas en la normativa vigente para ese año, y que para su regularización e integración conllevaría realizar obras de construcción que probablemente modifique la geometría de la rampa, ya que para el suministro eléctrico deberá integrarse a la red de alumbrado público y a un centro de control para el monitoreo continuo de la rampa, por lo que probablemente por los costos de construcción se ha postergado su instalación hasta que sea definida su necesidad.

Los aspectos de la calidad del material de la cama de frenado, el diseño del pavimento para el camino de acceso, el cálculo para los sistemas de drenaje y subdrenaje así como de las estructuras tales como la construcción de muros o taludes mecánicamente estabilizados, al considerarse como obras especiales y de geotecnia, no serán revisados ni detallados en este trabajo, por lo cual se sugiere que para dichos estudios, deban ser realizados por personas especializadas en dichas áreas y con base a su experiencia se emita una opinión y conclusión, y que los estudios realizados puedan ser integrados en la realización de un proyecto ejecutivo real. El presente trabajo dará opciones

para solventar el tema geométrico y que para su construcción deberán ser realizados los estudios de ingeniería de detalle, siendo algunos de ellos los mencionados anteriormente.

Por otro lado, han circulado noticias a través de medios electrónicos donde se observa que el uso de la rampa de emergencia para frenado no es del todo seguro; por ejemplo, un portal digital de noticias denominado “DigitalMex” reportó el día martes, 4 de mayo de 2021 que:

“El conductor de un tráiler de doble remolque perdió el control de la unidad al circular por la carretera México-Toluca. De acuerdo con los primeros reportes, el accidente se registró alrededor de las 17:00 horas de este martes, a la altura del kilómetro 18, en el paraje La Escondida, del municipio de Ocoyoacac, cuando la pesada unidad volcó sobre la rampa de frenado luego de quedarse sin frenos.” [16]

A través de la imagen capturada por ese medio se observa un tracto camión doblemente articulado fuera de la cama de frenado, por lo que la distancia de la cama de frenado no fue la indicada para detener al pesado vehículo, asimismo usuarios de la plataforma Facebook y X (anteriormente Twitter) han fotografiado casos donde la rampa anteriormente construida en el km 40+300 y la actual (km 39+800) no detienen de manera segura a los vehículos fuera de control, esto debido a que en las imágenes publicadas, se puede apreciar que los vehículos salen de la cama de frenado o se estrellan con las barreras de concreto instaladas al final de la rampa; para el caso de la salida de la cama de frenado, el incidente terminó en tragedia con una víctima fatal. Esto deja evidencia de que las omisiones en el aspecto geométrico de esta rampa de emergencia para frenado vienen desde la construcción de la primera rampa ubicada en el km 40+300 y que, consecuentemente, se han repetido los mismos errores para su reubicación en el km 39+800; si bien estos casos pueden considerarse como “aislados”, no es de minimizarse el tema de confiabilidad y seguridad en un dispositivo que debería estar diseñado para la seguridad vial y que esta no pueda ser garantizada para toda clase de usuario que la requiera; asimismo al no contar con una base de datos pública que lleve el registro de los incidentes ocurridos en esta rampa de emergencia para frenado no podemos asegurar que estos sean los únicos incidentes ocurridos, ya que pueden existir más siniestros los cuales no fueran documentados; al menos durante 2023, se registró un tránsito diario promedio anual de 26 892 vehículos, de los cuales 3 173 (11.8%) correspondían a algún tipo de vehículo de carga, por lo que se esperaría que el uso de la rampa no se limitó a uno o dos eventos anuales, y que de acuerdo a la proyección a 20 años, se esperaría que diariamente circulen en ese tramo hasta 4 371 vehículos de carga, lo cual hace relevante el hecho de mejorar las condiciones de esta rampa que hasta la fecha (2024) no cumple plenamente con lo indicado en la normativa.

[16] recuperado de: <https://www.digitalmex.mx/municipios/story/27264/trailer-pierde-el-control-frena-en-rampa-de-emergencia-sobre-la-mexico-toluca>

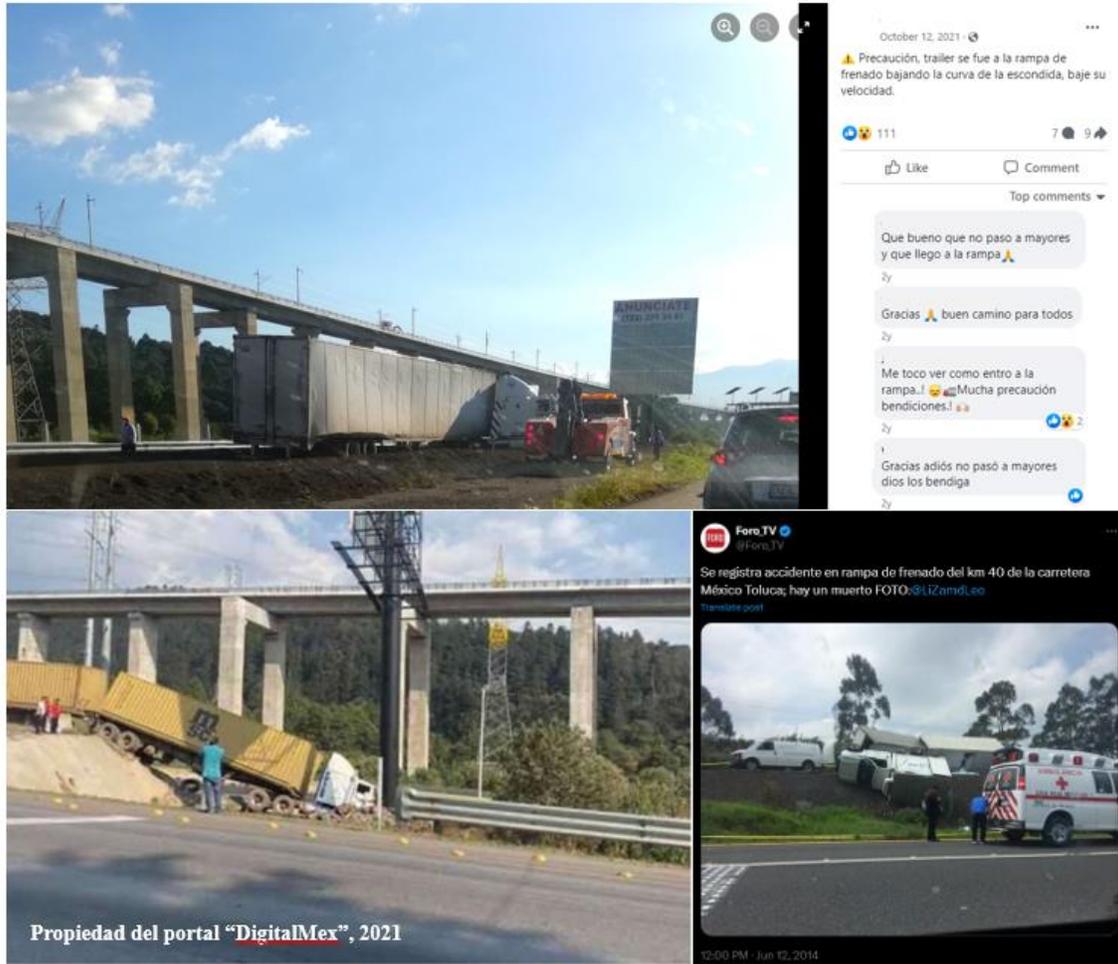


Imagen 52. Fotografías publicadas por Digitalmex, así como por usuarios de redes sociales respecto a los accidentes ocurridos en la rampa de emergencia para frenado del km 39+800

Otro de los casos que llama la atención es el de una nota publicada por el portal digital de noticias “La razón de México” donde dos tractocamiones colisionaron por la entrada de la rampa de emergencia,

“El choque de dos tráileres en el kilómetro 39+800 de la autopista México-Toluca dejó como saldo un par de personas heridas. De acuerdo con los reportes preliminares, unos de los choferes intentó tomar la rampa de frenado cuando impactó contra otra unidad, lo que provocó que ambos vehículos volcaran y se incendiaran tras salirse de la cinta asfáltica, alrededor de las 19:00 horas de esta noche.”^[17]

Este hecho da motivos para considerar la construcción de más rampas de emergencia para frenado en el tramo, ya que pueden presentarse casos donde dos vehículos requieran dicho dispositivo, y que, como se ha mencionado anteriormente, la longitud no es suficiente para detener a un vehículo y mucho menos lo es para detener a dos vehículos, por lo cual es imprescindible la planeación de

^[17] Obtenido de: <https://www.razon.com.mx/ciudad/choque-trailer-mexico-toluca-autopista/>

otro dispositivo previo al ubicado en el km 39+800, posiblemente requiriendo la adquisición de derecho de vía a los comercios aledaños a esta carretera, los cuales también forman parte como un peligro dada su ubicación en la zona de curvas.

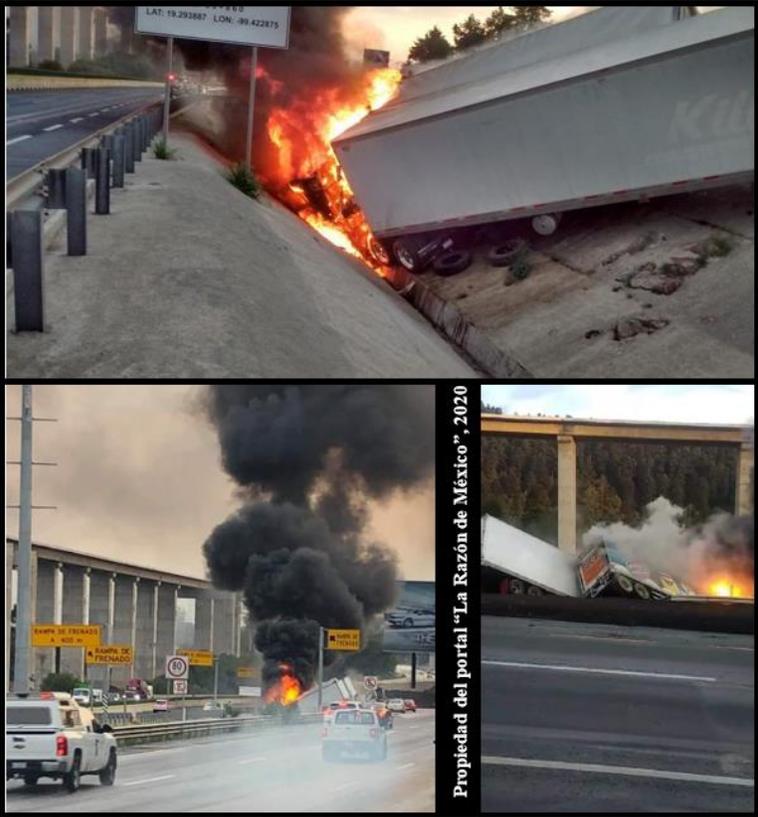


Imagen 53. Fotografía tomada por el medio digital “La razón de México”, se observa el choque de dos tráileres en la entrada a la rampa del kilómetro 39+800.

Capítulo VI: CONCLUSIONES

Una vez analizadas las características de la rampa de emergencia ubicada en la carretera libre de peaje México – Toluca, Ruta MEX-015, en el kilómetro 39+800, se tiene que de los 3 aspectos abordados en este trabajo, siendo la ubicación, geometría y equipamiento de dispositivos, cuentan con diversas observaciones en cada uno de ellos, de modo que de manera ilustrativa y visual, se presentarán los resultados del análisis mediante una tabla resumen conteniendo los aspectos a considerar establecidos en la *NOM-036-SCT2-2016 Rampas de emergencia para frenado en carreteras* indicando cuales son los puntos que se cumplen así como los que no con respecto a la norma antes referida.

Es importante aclarar que el aspecto hidrológico y de drenaje, así como el geotécnico, no serán objeto de análisis en estas conclusiones.

- Aspecto de la ubicación de la rampa de emergencia para frenado:

La rampa de emergencia para frenado no cumple con la totalidad de las consideraciones respecto a su ubicación de la actual norma *NOM-036-SCT2-2016 Rampas de emergencia para frenado en carreteras*, teniendo como principales deficiencias la visibilidad de la rampa de emergencia en condiciones nocturnas y la instalación de una estructura al término de la cama de frenado. Estas deficiencias impactan directamente en el uso de la rampa de emergencia para frenado ya que un usuario no podrá visualizarla de manera oportuna en condiciones nocturnas, o que el usuario no tenga la seguridad de usar este dispositivo al percibir que la longitud no sea suficiente con una estructura instalada al final de la cama de frenado, dando una perspectiva de peligro al acercarse cada vez más al final de este dispositivo, para ejemplificarlo de manera más gráfica, obsérvese la Tabla 16 la cual muestra las características a considerar en este aspecto, desarrollando las deficiencias que fueron halladas durante su análisis.

La atención de estas deficiencias podrá ser realizada a través de trabajos para la reubicación de la rampa de emergencia para frenado; y como una opción alternativa, podrán ser realizados trabajos de corrección a los elementos de la rampa de emergencia para frenado existente, así como trabajos de mantenimiento. La primera opción sería una medida definitiva y la segunda una medida paliativa para disminuir el riesgo de fatalidades.

Dada la complejidad de la región y de la carretera, la cual cuenta con un trazo geométrico dificultoso, la reubicación de la rampa de emergencia podría considerarse como una opción poco viable en el aspecto económico, y siendo la más adecuada técnicamente. Por lo cual, la implementación de esta alternativa deberá ser analizada integralmente con sus ventajas y desventajas en los aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales.

Tabla 15.

Tabla resumen de los aspectos de ubicación con las que cumple la rampa de emergencia para frenado del kilómetro 39+800.

NOM-036-SCT2-2016 "Rampas de emergencia para frenado en carreteras"	-	Rampa de Emergencia para frenado km 39+800, tipo RE-4	Cumple (SI/NO)
Ubicación			
La rampa es claramente visible para evitar la percepción de discontinuidades que desalienten la entrada a la misma		La rampa existente es visible para los usuarios que requieren de su uso, sin embargo, no se garantiza que su visibilidad sea adecuada en condiciones nocturnas o de poca iluminación; la percepción de discontinuidades es notable al final de la rampa. No cumple con el requisito	NO
La rampa de emergencia para frenado se ubica en un tramo sin curva horizontal		La rampa de emergencia para frenado se ubica en un tramo tangente. Cumple con el requisito.	SI
La rampa de emergencia para frenado se ubica en un tramo sin curva vertical (columpio o cresta)		La rampa de emergencia para frenado se ubica en un tramo con pendiente descendente. Cumple con el requisito.	SI
El sitio donde se ubica la rampa, cumple con el criterio de siniestralidad en el sitio, esto es la ocurrencia anual de un accidente fatal, causado por vehículos sin frenos o cuando los accidentes causados por los vehículos sin frenos puedan resultar en colisiones con otros vehículos o con instalaciones ocupadas por otras personas.		El sitio donde se ubica la rampa de emergencia para frenado, en años previos presentaba anualmente al menos un siniestro, siendo los de mayor frecuencia la colisión con objeto fijo y salidas del camino. Cumple con el requisito.	SI
El sitio donde se ubica la rampa, cumple con el criterio de que por efecto del alineamiento vertical descendente, los vehículos con los frenos dañados pueden acelerarse a velocidades mayores a las toleradas por el alineamiento horizontal o hasta ciento cuarenta kilómetros por hora (140 km/h)		En el sitio donde se ubica la rampa de emergencia, un vehículo con los frenos dañados, llega a una velocidad superior a los ciento cuarenta kilómetros por hora (>140 km/h) establecidos en la norma. Cumple con el requisito.	SI
La rampa de emergencia para frenado se ubica libre de obstáculos previos o posteriores de su inicio y final (Pasos Inferiores Vehiculares, Pasos Superiores Vehiculares, obras de drenaje, estructuras de mampostería, otras estructuras, etc...)		La rampa de emergencia se encuentra ubicada entre obras de Drenaje al inicio, mientras que al final se encuentra limitada por una estructura metálica y el acceso a la rampa de emergencia para frenado de la autopista de cuota. No cumple con el requisito.	NO

Nota. Elaboración propia.

- Aspecto de la geometría de la rampa de emergencia para frenado:

El aspecto geométrico va de la mano con la ubicación de la rampa, siendo la geometría dependiente de la ubicación, las deficiencias de la ubicación repercutirán en la geometría de los elementos, por ejemplo; una mala ubicación de la rampa puede conllevar una limitación de los espacios disponibles para cada uno de los elementos que conforma la rampa de emergencia, esto en consecuencia genera que la geometría sea diseñada con los valores límites, teniéndose que adaptar cada elemento a las condiciones límites mínimos o máximos de diseño, por lo cual no se dejan espacios con suficiente holgura para futuras modernizaciones al dispositivo.

Para el caso en estudio, se tiene una ubicación complicada, con espacios tan limitados que no permiten desarrollar debidamente todos los elementos que deben conformar el dispositivo, por lo cual, muchos de estos elementos no cumplen con lo establecido en la norma, siendo uno de estos

la longitud efectiva; sin embargo, con ajustes de los espacios previos y posteriores a la rampa de emergencia es posible solucionar las deficiencias señaladas.

Considerando que la reubicación de la rampa es una medida poco atractiva debido a los altos costos que involucra, siendo la opción alternativa la que más se ajusta a los menores costos ya que adecuaría lo construido conforme a lo indicado en la norma; los trabajos a realizar para la atención a las deficiencias se centrarían en el cumplimiento de la longitud efectiva, por lo cual los trabajos de construcción se limitarían a la cama de frenado, así como en su acceso; algunos de estos trabajos consistirían en la rectificación del ángulo de entrada, ampliación de la cama de frenado tanto en su longitud como en el ancho, construcción de la caja en la terracería de la rampa para el acomodo del material granular y reubicación del acceso a la rampa.

Tabla 16.

Tabla resumen de los aspectos geométricos con los que cumple la rampa de emergencia para frenado del kilómetro 39+800.

NOM-036-SCT2-2016 "Rampas de emergencia para frenado en carreteras"	-	Rampa de Emergencia para frenado km 39+800, tipo RE-4	Cumple (SI/NO)
Geometría			
El acceso a la rampa debe ser amplio y suficiente para alojar la cama de frenado y el camino de servicio, con suficiente espacio adicional para poder realizar los trabajos de conservación del área		El acceso a la rampa de frenado no es amplio ni suficiente para alojar la cama de frenado y el camino de servicio, no se tiene espacio adicional para la realización de trabajos de conservación ya que para realizar dichos trabajos, se requiere invadir el carril izquierdo de la carretera. No cumple con el requisito	NO
La longitud de la cama de frenado es suficiente para disipar la energía cinética del vehículo que utilice la rampa		La longitud de la cama de frenado no es suficiente para disipar la energía cinética del vehículo, se tiene un déficit de 146.4 metros con respecto a la longitud efectiva y 219.75 metros con respecto a la longitud total. No cumple con el requisito	NO
El ángulo de entrada es menor o igual a cinco grados (5°) respecto al eje de la carretera		El ángulo de entrada respecto al eje de la carretera es de 5.1°, estrictamente debe ser menor de 5.0°. No cumple con el requisito	NO
El ancho de la cama de frenado es de diez a doce metros (10 - 12 m)		El ancho de la cama de frenado es de diez punto cinco metros (10.5 m). Cumple con el requisito	SI
El ancho del camino del servicio debe ser de cinco metros (5 m)		El ancho del camino de servicio es de tres punto ocho metros (3.8 m)	NO
El material granular de la cama de frenado fue debidamente colocado a volteo en una caja en la terracería de la rampa, con taludes de dos tercios a uno y profundidad igual que el espesor de la cama.		El material granular que conforma la cama de frenado fue colocado a volteo en una superficie uniforme sin taludes ni profundidad. No cumple con el requisito	NO
El espesor de la cama de frenado colocado al inicio de la cama de frenado es de por lo menos diez centímetros (10 cm) y posteriormente, aumenta su espesor gradualmente de sesenta centímetros (60 cm) a un metro (1 m)		El espesor de la cama de frenado colocado va desde los diez centímetros (10 cm) al inicio y llega hasta los ochenta y cinco centímetros (85 cm). Cumple con el requisito	SI
En caso de no cumplir con la longitud efectiva necesaria, fueron colocados dispositivos que hayan mostrado su efectividad para detener los vehículos sin dañar los ocupantes, o como una segunda opción, montículos del mismo material utilizado en la cama de frenado en un punto de la cama en el cual el impacto que se produzca sea a una velocidad menor de cuarenta kilómetros por hora (40 km/h)		La cama de frenado no cumple con la longitud efectiva necesaria, por lo tanto fueron colocadas barreras de concreto al final de la cama de frenado, estos dispositivos no son efectivos para la detención de los vehículos sin dañar a los ocupantes. No cumple con el requisito	NO

Nota. Elaboración propia.

- Aspecto del equipamiento de la rampa de emergencia para frenado:

El equipamiento de una rampa de emergencia para frenado es uno de los de mayor relevancia para su adecuado funcionamiento, ya que desde momentos previos al acceso a la rampa, algunos de sus elementos se encuentran en contacto directo con los usuarios de la vialidad, guiándolos de manera oportuna hasta su acceso, para que después, otros elementos provean de seguridad al usuario durante el uso de la rampa, ya sea desalojando la acumulación de líquidos que pueden alterar el estado de la cama de frenado, así como impedir la salida de los vehículos hacia fuera de este dispositivo, algunos otros elementos se encargarán de proporcionar asistencia post-siniestro, ya sea mediante notificación a las autoridades correspondientes o como apoyo a la maquinaria utilizada por los equipo de rescate; si bien este aspecto parece ser insignificante dado que el principal elemento para detener al vehículo de manera controlada ha sido diseñado y construido, son estos sistemas complementarios los que obedecen en gran medida al cumplimiento de la seguridad vial, ya que con estos elementos se garantiza el cuidado de la integridad física de todos los usuarios previa y posteriormente a los siniestros viales ocurridos; siendo esta una de las consideraciones contenidas dentro de la Ley General de Movilidad y Seguridad Vial como uno de los objetivos prioritarios, consistente en la protección de la vida y la integridad física de las personas en sus desplazamientos a través de la generación de sistemas de movilidad seguros. Por lo cual, todas las rampas construidas deberán contener estos sistemas complementarios que son necesarios para salvaguardar la integridad física de los usuarios y darle cumplimiento a la Ley.

Sin embargo; en este caso de estudio, se pasó por alto todo este aspecto, al no contar con ningún sistema complementario que reduzca la probabilidad de que se generen daños a la integridad física de los usuarios en caso de utilizar esta rampa, además, se carecen totalmente de las instalaciones que permitan la adecuación y colocación de estos sistemas para futuras modernizaciones.

Para este caso en particular, en el que consideramos como la opción más viable la adecuación de los elementos conforme a la normativa vigente y aprovechando los trabajos que se realizarán en la cama de frenado y camino de servicio, será posible brindarle atención a estas deficiencias a través de una modernización a todos los elementos que componen a la rampa de emergencia para frenado, por lo cual se realizaría una mayor cantidad de trabajos a lo largo de esta rampa, integrando al proyecto de modernización todos los sistemas complementarios. Sin embargo, la opción técnica más viable sigue siendo la reubicación de la rampa de emergencia para frenado en un tramo tangente previo al actual acceso; esta opción daría una atención integral a todas y cada una de las deficiencias halladas, tanto en su ubicación, como en su geometría y equipamiento.

Tabla 17.

Tabla resumen del aspecto del equipamiento con el que cumple la rampa de emergencia para frenado del kilómetro 39+800.

NOM-036-SCT2-2016 "Rampas de emergencia para frenado en carreteras"	-	Rampa de Emergencia para frenado km 39+800, tipo RE-4	Cumple (SI/NO)
Equipamiento			
El camino de servicio esta complementado con macizos de anclaje de concreto hidráulico, separados entre si, en forma equidistante, a no menos de cincuenta metros (50 m) ni más de cien metros (100 m)		El camino de servicio no cuenta con el espacio suficiente para la instalación de macizos de anclaje de concreto hidráulico, por lo cual, la rampa de emergencia para frenado no esta complementada con los macizos de anclaje. No cumple con el requisito	NO
La cama de frenado esta complementado con un adecuado sistema de drenaje y subdrenaje que evite el deterioro de las características del material que forma la cama de frenado		La rampa de emergencia para frenado no esta complementada con un sistema de drenaje y subdrenaje. No cumple con el requisito.	NO
La rampa de emergencia para frenado esta complementada con un sistema de iluminación que permita a los usuarios el acceso seguro y eficiente a la rampa en condición nocturna o de baja visibilidad		La rampa de emergencia no esta complementada con un sistema de iluminación, por lo que su visibilidad se ve disminuida en condiciones de poca luz. No cumple con el requisito	NO
Se instalaron cámaras de detección automática de incidentes al inicio o al final de la rampa de emergencia para frenado		La rampa de emergencia no cuenta con cámaras de detección automática de incidentes. No cumple con el requisito	NO
Fueron instalados adecuadamente dispositivos de seguridad que eviten la salida de los vehículos de la rampa de emergencia para frenado (Barrera metálica, barrera de concreto, amortiguador de impacto)		Las barreras metálicas instaladas en el extremo izquierdo de la cama de frenado evitan la salida de los vehículos hacia la autopista y las barreras de concreto instaladas al final de la cama de frenado no aseguran la detención total del vehículo, se requiere instalar barrera metálica en el extremo derecho de la cama de frenado para evitar invadir la carretera México - Toluca. No cumple con el requisito	NO
El diseño del señalamiento de la rampa de emergencia para frenado, comprende tanto del señalamiento horizontal como del señalamiento vertical cumpliendo conforme a las características establecidas en la NOM-036-SCT2-2016 y NOM-034-SCT2-2011.		El señalamiento instalado previamente al acceso de la rampa de emergencia para frenado, no cumple con la totalidad de criterios establecidos en la normativa. No cumple con el requisito.	NO

Nota. Elaboración propia.

Una vez señaladas las deficiencias encontradas, se proponen realizar acciones para su atención, las cuales estarán integradas en tres propuestas conceptuales, y que estas podrán variar una vez que se realice el proyecto ejecutivo. Las tres propuestas aquí presentadas consideran un análisis básico de la información disponible y que pudo ser obtenida en campo de manera elemental; será la ingeniería de detalle, la consistente en la elaboración de los estudios realizados en el sitio y que constituyen al proyecto ejecutivo, el principal eje que regirá la factibilidad de la implementación de estas propuestas; se hace énfasis en que la realización de estos estudios se encuentra fuera del alcance de este trabajo.

Propuesta 1: Medida correctiva de alto costo, corrección geométrica de la actual rampa de emergencia para frenado.

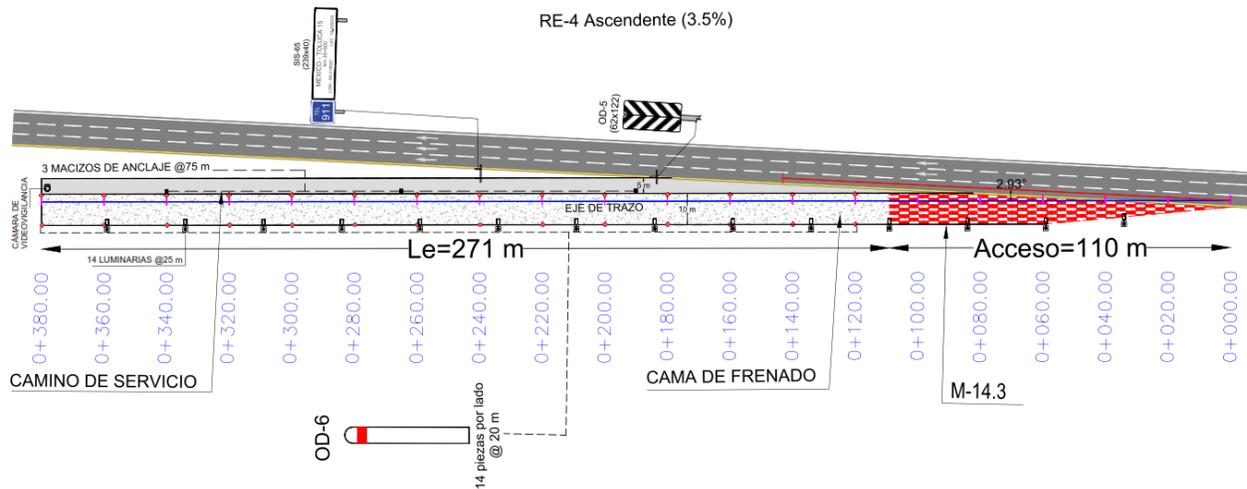


Imagen 54. Propuesta 1, Modernización de la Rampa de Emergencia para Frenado actual.

De acuerdo a los hallazgos respecto a la geometría de la actual rampa de emergencia para frenado, en donde se tiene que el ángulo de acceso es superior al establecido por la normativa, una longitud efectiva mucho menor a la requerida, así como un ancho insuficiente para alojar la cama de frenado y el camino de servicio, y que, además no cumple con ninguno de los sistemas complementarios; se propone la demolición parcial de la actual rampa de emergencia para nuevamente ser construida con un nuevo eje de trazo, el cual disponga de una mayor cantidad de espacio para la integración de todos los elementos que requiera para su cumplimiento de acuerdo a la *NOM-036-SCT2-2016 Rampas de emergencia para frenado en carreteras*.

Esta propuesta consiste en la mejora de todos los elementos de la rampa de emergencia para frenado, con un nuevo eje de trazo, el cual sería ubicado en el km 39+700, cien metros (100 m) previos del actual acceso, esta reubicación permitiría que sea cumplida la longitud efectiva, aunque con ello no se cumple con la longitud total establecida en la normativa, además, se ampliaría el ancho del camino de servicio a cinco metros (5 m) tal y como lo establece la normativa. Como parte de la modernización de la rampa de emergencia para frenado, se adecuarían todos sus elementos a lo establecido en la normativa, esto es, la construcción de un cajón donde el material granular sea acomodado por volteo, el cual contaría con una profundidad inicial de diez centímetros (10 cm) y desarrollándose hasta un metro (1 m) al final de la cama de frenado; macizos de anclaje distribuidos a cada setenta y cinco metros (75 m); construcción de un sistema de drenaje y subdrenaje en el cajón que almacena el material granular; construcción de instalaciones para la implementación de sistemas de iluminación así como el de video, alimentados por la energía eléctrica del alumbrado público; instalación del señalamiento vertical y horizontal adecuado, aprovechando el señalamiento ya existente de la rampa actual; entre algunas otras mejoras más (Obsérvese Imagen 55).

Asimismo, se propone aumentar el ángulo de inclinación de 1.3% a 3.5%, esto con motivo de disminuir su longitud efectiva, permitiendo que la rampa se ajuste lo más posible al área libre disponible, además, se aprovecharía parte del material y estructura de la actual rampa utilizándolo como base de lo que será construido.

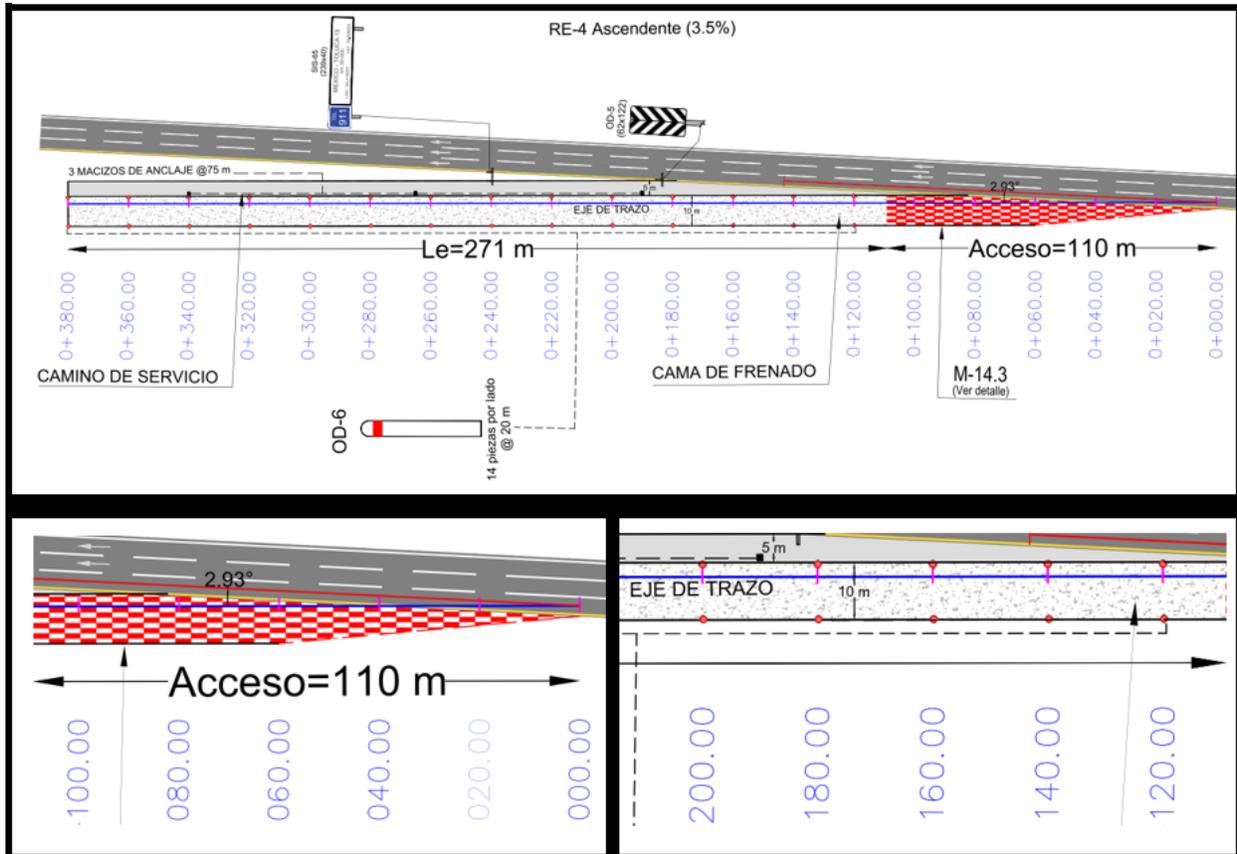


Imagen 55. Propuesta número 1, aspectos geométricos destacables.

Las ventajas de esta propuesta consisten en un menor costo en la elaboración de los estudios y proyectos, ya que se utiliza en gran parte del área de la actual rampa; así como, el aprovechamiento de la infraestructura ya construida, utilizando como base lo ya construido; o en caso de iniciar con la obra desde cero, es posible reutilizar los elementos o materiales que sean aptos para su reusó durante el nuevo proyecto. Así mismo, esta propuesta no conlleva conflictos sociales dado que toda la extensión de la rampa de emergencia se encuentra dentro del derecho de vía tanto de la carretera como de la autopista (Obsérvese Imagen 56).

Los principales problemas con esta propuesta son:

- Adecuación estructural que inhabilitará la rampa de emergencia actual: Como fue mencionado anteriormente, la propuesta utiliza como base lo ya construido; aunque la mayor parte de los trabajos sean desarrollados en el tramo previo del acceso actual, donde será necesario de una ampliación en el ancho de la calzada de la carretera y el abatimiento

de las defensas metálicas existentes, al mismo tiempo que desarrollar el proyecto ejecutivo para muros mecánicamente estabilizados y posteriormente la construcción de estos, la realización de estos trabajos dejarán gran parte del tramo inhabilitado para su uso durante la modernización, por lo que será fundamental la implementación de un programa de trabajo que minimice los tiempos de construcción. Asimismo, el cierre de un carril de circulación generará graves problemas de circulación en la zona cuando se encuentren en horarios de alta demanda, factor que puede resultar contraproducente en carreteras con pendientes descendentes y curvas sinuosas.

- Reubicación de la flora existente: Sin duda el tema ambiental es un aspecto a considerar, ya que esta propuesta extiende el alcance de la infraestructura hacia zonas donde se tiene una abundante población de flora, por lo cual, se deberá realizar la reubicación de todas las especies que ahí se encuentren, así como la realización de la Manifestación de Impacto Ambiental, el cual es necesario obtener previo a cualquier trabajo de construcción.
- Acceso casi inmediatamente de la salida de la curva horizontal PI-7: Este factor es algo importante a considerar, ya que el acceso a la rampa estaría inmediatamente saliendo de la curva PI-7 con un grado de curvatura de $4^{\circ}56'48''$, complicada de tomar cuando se transita a velocidades mayores a las de proyecto (50 km/h), por lo que a la entrada de la rampa se vería comprometida la estabilidad del vehículo, afectando significativamente a los vehículos pesados.

Esta propuesta se considera la más apta dado los costos de construcción y sus beneficios de aprovechamiento en los aspectos de espacios y materiales; sin embargo, los problemas que conlleva su modernización también resultan considerables ya que se generará una reducción en los niveles de servicio durante la construcción de este dispositivo y que afectará directamente a la operación de la carretera previo y posterior al tramo que será intervenido, por lo cual se requerirá de un análisis a mayor detalle con base a estudios de campo más exactos, donde se requerirá especificar aquellas complicaciones durante su etapa de construcción, así como una adecuada planeación mediante programas de trabajo que minimicen los riesgos de los usuarios y trabajadores durante las labores de modernización.

Adicionalmente, esta propuesta integra un mejoramiento a la señalización vertical del tramo en estudio, esta propuesta considera la remoción de señales fuera de norma, anuncios espectaculares, así como otro tipo de señales que invadan el derecho de vía del camino; con esta acción se proporcionará un adecuado mensaje al conductor para que sea prevenido de las características geométricas de este tramo carretero y que no sea desorientado por los anuncios y las excesivas señales que indican otro tipo de características que no contribuyen a la seguridad vial en el tramo.

Se espera que con la implementación de la propuesta se reduzcan los siniestros viales al dar una perspectiva de seguridad en el usuario y que esté confiado en que su detención sea gradual y efectiva.

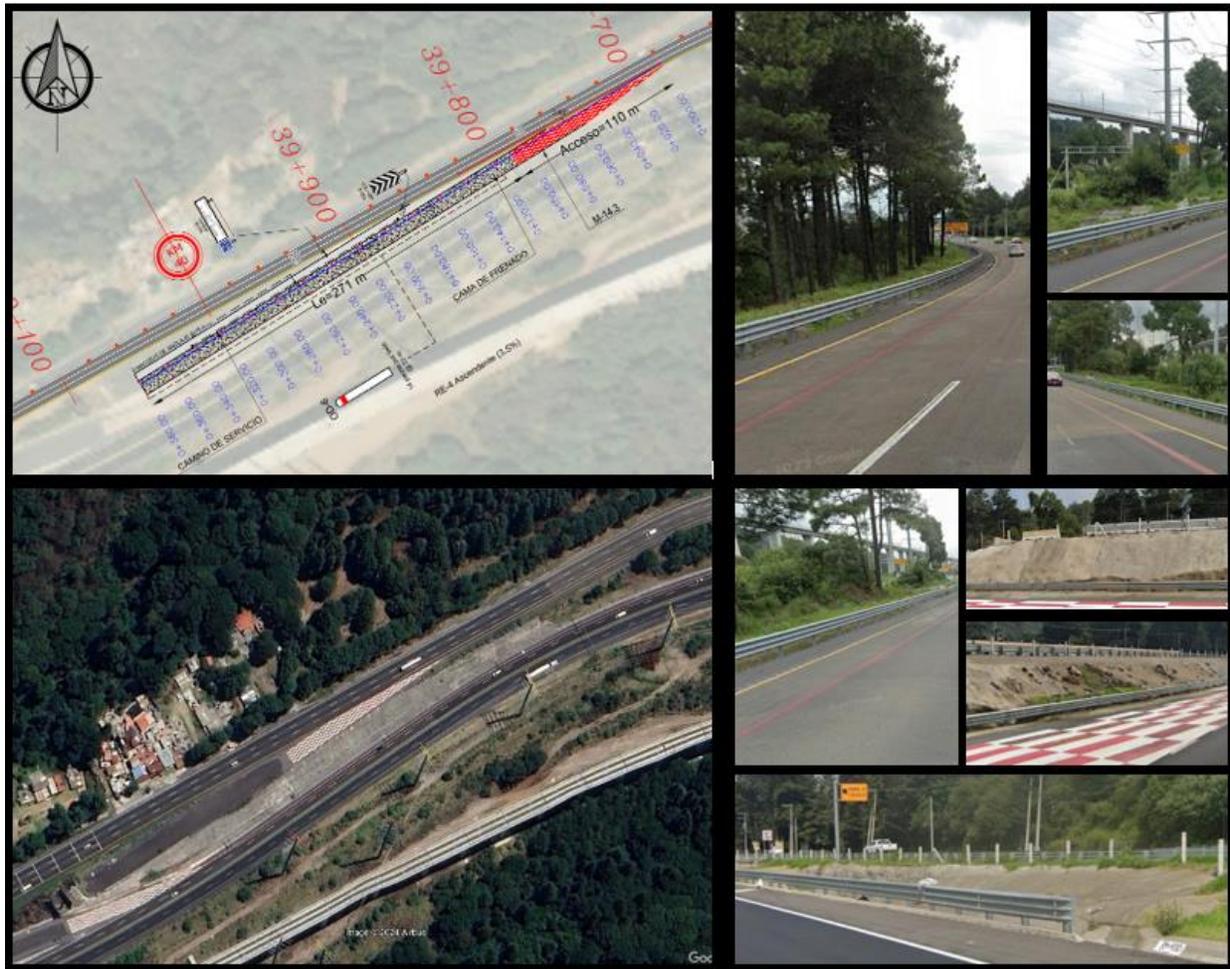


Imagen 56. Vistas de las áreas con posible afectación con la construcción de la propuesta 1.

Como parte de esta propuesta, se han anexado a este trabajo, las secciones transversales de construcción esperadas con el nuevo eje de trazo de la rampa de emergencia para frenado; sin embargo, estas secciones no cuentan con cantidades volumétricas de terracerías, así como con algunos otros elementos que son importantes indicar en los planos que son entregados como parte de un proyecto ejecutivo, esto con motivo de que se requieren los estudios geotécnicos y de pavimentos para realizar la volumetría y cantidades de obra correspondientes, por lo que las secciones mostradas son conceptuales y demostrativas; así mismo, las distancias pueden variar con respecto a lo disponible en campo, requiriéndose de los estudios topográficos para realizar una adecuada proyección considerando los cortes o terraplenes por construir. Como ejemplo, véase la Imagen 56 la cual representa en la parte de arriba la sección transversal esperada de la rampa de emergencia para frenado, considerando la instalación de luminarias, sistema de subdrenaje y barreras de orilla de corona, en la parte de abajo puede observarse la sección transversal indicando el espacio requerido para alojar la cama de frenado y el camino de servicio de acuerdo a lo proyectado, esto último no considera el espacio de las instalaciones complementarias.

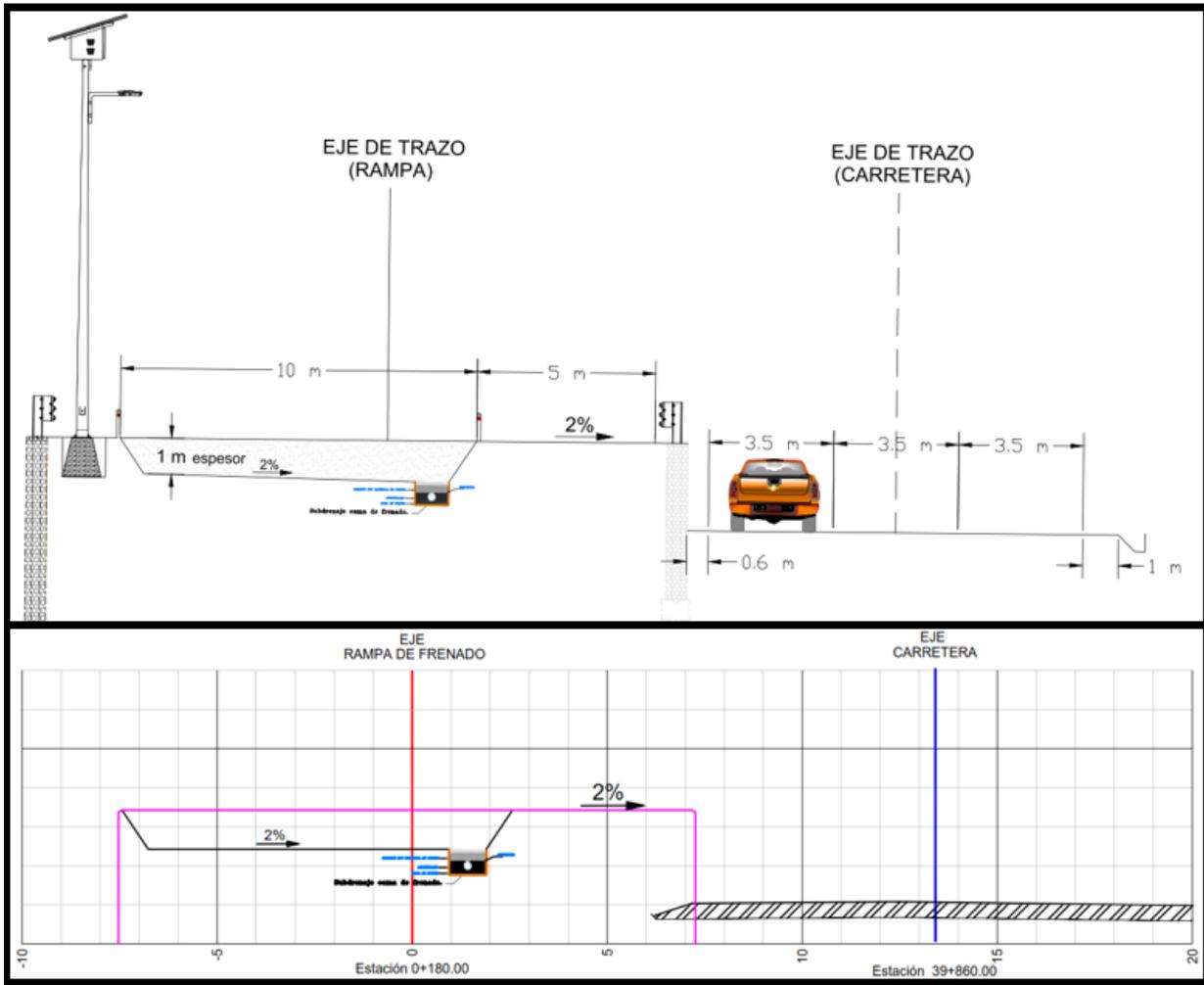


Imagen 57. Sección transversal esperada (arriba) y sección transversal indicando un volumen para construcción de cama de frenado y camino de servicio (abajo).

Propuesta No. 2: Medida integral, de muy alto costo, reubicación de la rampa de emergencia para frenado al km 39+100.

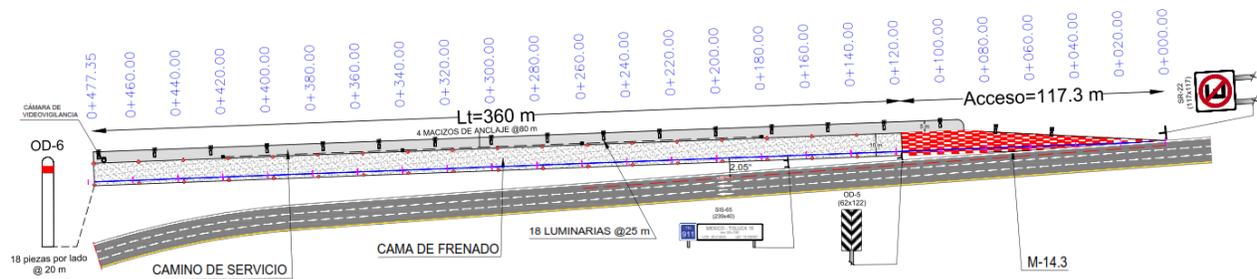


Imagen 58. Propuesta 2. Reubicación de la Rampa de emergencia para frenado al km 39+100.

Esta propuesta involucra la construcción de una nueva rampa de emergencia para frenado de tipo RE-4 (Ascendente), en la tangente que se ubica entre el km 39+080 al km 39+500, con ello se proyecta una rampa que cumple con todos los criterios de diseño que especifica la *NOM-036-SCT2-2016 Rampas de emergencia para frenado en carreteras*, con una adecuada geometría de la rampa, ubicación estratégica para brindar una mayor seguridad al usuario de entrar a la rampa de emergencia, así como la instalación de los equipos complementarios que se requieren de acuerdo a esta misma norma.

La longitud de la rampa de emergencia propuesta es de trescientos sesenta metros (360 m), calculada con los criterios establecidos en la norma, considerando una velocidad máxima de ciento cuarenta kilómetros por hora (140 km/h) y una pendiente ascendente (positiva) del dos por ciento (2%), el material granular considerado para el cálculo de la longitud de la cama de frenado fue de la gravilla uniforme suelta con una resistencia a la rodadura (R_m) de 0.25; sustituyendo los valores en la ecuaciones para el cálculo de la longitud se obtiene lo siguiente:

$$Le = \frac{140^2}{254(0.250 + (0.020))} \rightarrow Le = \frac{19600}{254(0.270)} \rightarrow Le = \frac{19600}{68.580}$$

$$Le = 285.80 \text{ m} \rightarrow L_t = Le * 1.25 = 357.25 \text{ m}$$

El ángulo de entrada a la rampa de emergencia para frenado se encuentra con una inclinación de 2.05° con respecto al eje de trazo de la carretera, lo que permite un acceso con mayor estabilidad del vehículo, además, al estar ubicada en el lateral derecho del camino, permitirá que los vehículos fuera de control no tengan que invadir otros carriles para entrar a esta rampa, si bien la rampa se ubica en la salida de la curva derecha PI-6, se espera que con la misma acción física del vehículo, este pueda ser adecuadamente encaminado aprovechando su dirección y aceleración propia de la curva y la pendiente; asimismo, se espera que con algunas otras acciones de mejora en la carretera, como la actualización del señalamiento de la rampa y la limpieza de las zonas laterales de la

carretera, se pueda garantizar la correcta orientación al usuario y encauzamiento del vehículo, así como una adecuada visibilidad de la rampa de emergencia para frenado para todos los usuarios.

Las dimensiones geométricas para el diseño de la cama de frenado es de diez metros de ancho (10 m) y treientos sesenta metros de largo (360 m), considerando la construcción de un cajón que almacene el material granular con su respectivo sistema de drenaje y subdrenaje; para el camino de servicio se propone un ancho de cinco metros, dentro de los cuales se tendrá la construcción de los macizos de anclaje cimentados a la estructura de este mismo, además contará con luminarias para mejorar la visibilidad de este dispositivo en condiciones nocturnas y una cámara de detección automática de incidentes al final de la cama de frenado.

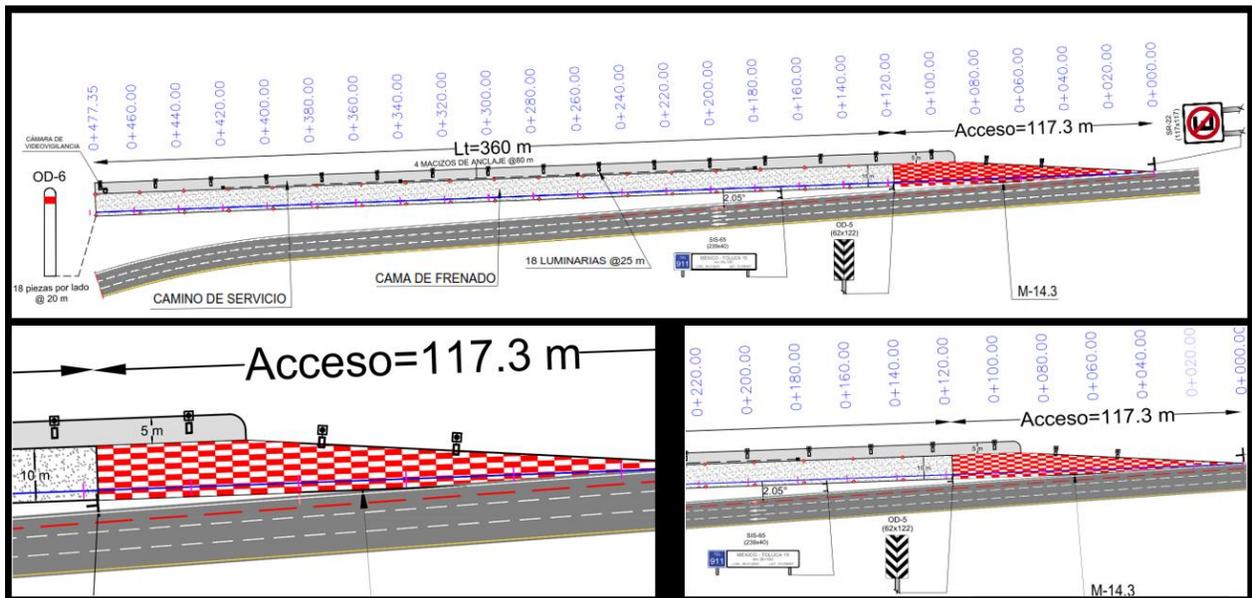


Imagen 59. Propuesta número 2, aspectos geométricos destacables.

Las principales ventajas de esta propuesta son las siguientes:

- Mayor longitud en la cama de frenado, extendiéndose hasta la longitud total requerida por la normativa.
- Camino de servicio en el extremo derecho, permitiendo realizar las maniobras de rescate necesarias sin invadir los carriles de circulación de la carretera.
- La ruta de escape hacia la orilla extrema derecha inhibe el entrecruzamiento de los vehículos en carriles centrales para acceder a la rampa de emergencia.
- De acuerdo a los cálculos de velocidad a la que se llega a la rampa de emergencia indicados en la normativa; suponiendo que un vehículo se queda sin frenos desde el km 38+050 y que esté circulará a la velocidad restringida de 80 km/h, se llegaría a esta rampa de emergencia con una velocidad aproximada de ciento treinta y nueve kilómetros por hora (139 km/h).
- Las obras de construcción no impactarían gravemente en la operación de la carretera.

- Con la construcción de la rampa de emergencia, se clausurarían los accesos irregulares a las viviendas establecidas en las zonas laterales de la carretera, así como las de los comercios; por lo que se inhibiría la entrada y salida no señalizada a la carretera.

Sin embargo, esta propuesta también conlleva una serie de problemáticas que pondrían en duda su factibilidad de construcción por lo siguiente:

- La adquisición del derecho de vía necesario para la construcción de la rampa de emergencia, el cual requerirá la adquisición de terrenos con establecimientos ya construidos, así como, accesos a viviendas aledañas a la carretera.
- Reubicación de instalaciones marginales, instaladas sobre el margen de los dos punto cinco metros (2.5 m) del límite del derecho de vía.
- Reubicación de la flora existente en la zona, esta también implicaría la realización de una Manifestación de Impacto Ambiental, así como un análisis que proponga acciones para la mitigación de posibles afectaciones que puedan ser provocadas por su construcción.
- Adecuación de la torre eléctrica ubicada en el km 39+500, la cual puede ser dañada con la construcción de la rampa de emergencia para frenado.
- Problemas sociales con la población asentada en la zona donde se requiera adquirir el derecho de vía necesario.

Siendo esta la propuesta que solventaría en gran parte las deficiencias de la actual rampa de emergencia para frenado con una geometría más completa y segura, así como una ubicación estratégica que permite un acceso a la rampa más estable, también cuenta con una de las mayores problemáticas con respecto al tema social, ya que como se mencionó anteriormente, la adquisición del derecho de vía conlleva la compra de terrenos donde han sido construidos establecimientos y viviendas, así como sus respectivos accesos los cuales no cuentan con las características geométricas requeridas en el MPGC 2018, por lo que este factor social puede dificultar tanto la ejecución del proyecto ejecutivo como su construcción. Así mismo, la reubicación de las instalaciones eléctricas que ahí se encuentran, forman parte de una problemática donde la factibilidad se vea comprometida, dado que la reubicación resultará costosa y que no se contarán con los espacios mínimos requeridos para su instalación, sin embargo, podrá analizarse como una opción alternativa la instalación eléctrica subterránea en al menos 500 metros del tramo en estudio, todos estos aspectos pueden ser visualizados en la Imagen 59 contenida en este trabajo.

Se debe destacar que el establecimiento de comercios en las orillas de los caminos es una problemática social que limita las modernizaciones de la infraestructura carretera, en algunos casos es posible llegar a acuerdos con los pobladores para ceder parte de los terrenos por los que se requiere atravesar para la construcción o modernización de caminos, en algunos otros casos, con la falta de aceptación de los acuerdos por parte de pobladores es que se requiere del replanteo del trazo con nuevas rutas que libren ahora ese sitio que puede ser considerado como obstáculo; para este caso en concreto, se cree conveniente llegar a acuerdos para la eliminación de este tipo de asentamientos, los cuales muchos de ellos no cuentan con los accesos regulados para una correcta

incorporación y desincorporación de la carretera, y que ponen en riesgo la seguridad de los usuarios. En tramos previos se encuentran disponibles espacios donde la geometría permite el asentamiento controlado de comercios, y que su acceso puede ser mejorado conforme a los requerimientos de la normativa, asimismo es posible realizar adecuaciones en el señalamiento para indicar la existencia de este tipo de sitios donde es posible realizar paradas, ya sea recreativas o de emergencia, a estos sitios se les denomina “Paraderos” y sirven para hacer detenciones momentáneas para descanso, recreación, emergencia, entre algunas otras, y que en esta carretera se encuentra un espacio disponible en el km 36+100.



Imagen 60. Áreas con afectación de la propuesta 2, accesos irregulares, estructuras inhabilitadas, establecimientos en las orillas del camino, torre de luz eléctrica y parador existente.

Como había sido señalado anteriormente, una de sus principales ventajas es una mayor longitud en la cama de frenado, la cual puede extenderse hasta la longitud total requerida por la normativa; esto beneficia la seguridad con la que un usuario entra a la rampa, por ejemplo, previo a su entrada el usuario puede percibir a simple vista que el dispositivo es lo suficientemente largo como para detener al vehículo, una vez entrando al dispositivo, el usuario no observará en que parte de la rampa se encuentra, ya que el material granular del que se compone la cama de frenado impactará

el vehículo de forma continua y en todas direcciones, afectando la visibilidad del ocupante llegando a ser cubierto hasta el techo de su vehículo en algunos casos, asimismo, el usuario no espera que el vehículo frene intempestivamente como si chocará con una pared, sino que sea de manera gradual y controlada, por lo que el usuario confía en que la longitud sea más que suficiente para mantenerlo a salvo. Como puede observarse en la Imagen 60, el trazo de esta propuesta abarca una gran área dentro de espacios ocupados por propiedades privadas, pero, la adquisición de estos espacios en beneficio de la seguridad vial de los usuarios que transitan en esta carretera es de mayor interés.



Imagen 61. Vista satelital del trazo de la rampa propuesta en el km 39+100.

Asimismo el ancho de la cama de frenado sería mejorado, con una sección transversal mayor a los quince metros (15 m) en casi toda la longitud de la rampa de emergencia y que no se vería limitada por obstáculos como en la propuesta número uno, además, esta propuesta no considera necesaria la construcción de muros mecánicamente estabilizados al no tener una altura tan pronunciada como lo fue en la propuesta anterior; además, se aprovechará gran parte del relieve natural para soportar la estructura de la rampa; adicionalmente, la ubicación en el extremo derecho del camino facilitará la instalación del equipamiento de la rampa de emergencia para frenado, ya que aquí se encuentra

el sistema eléctrico, el cual sería aprovechable como una guía para la instalación de algunos otros sistemas, tales como el de fibra óptica, y que estos sistemas podrían ser alojados en franjas contiguas a la de la red eléctrica ya existente; como puede observarse en la Imagen 61, se presentan las secciones transversales del inicio de la cama de frenado ubicada en el km 0+120 del eje de trazo de la rampa, y del km 0+200 el cual ya cuenta con el espesor final de la cama de frenado de un metro de altura.

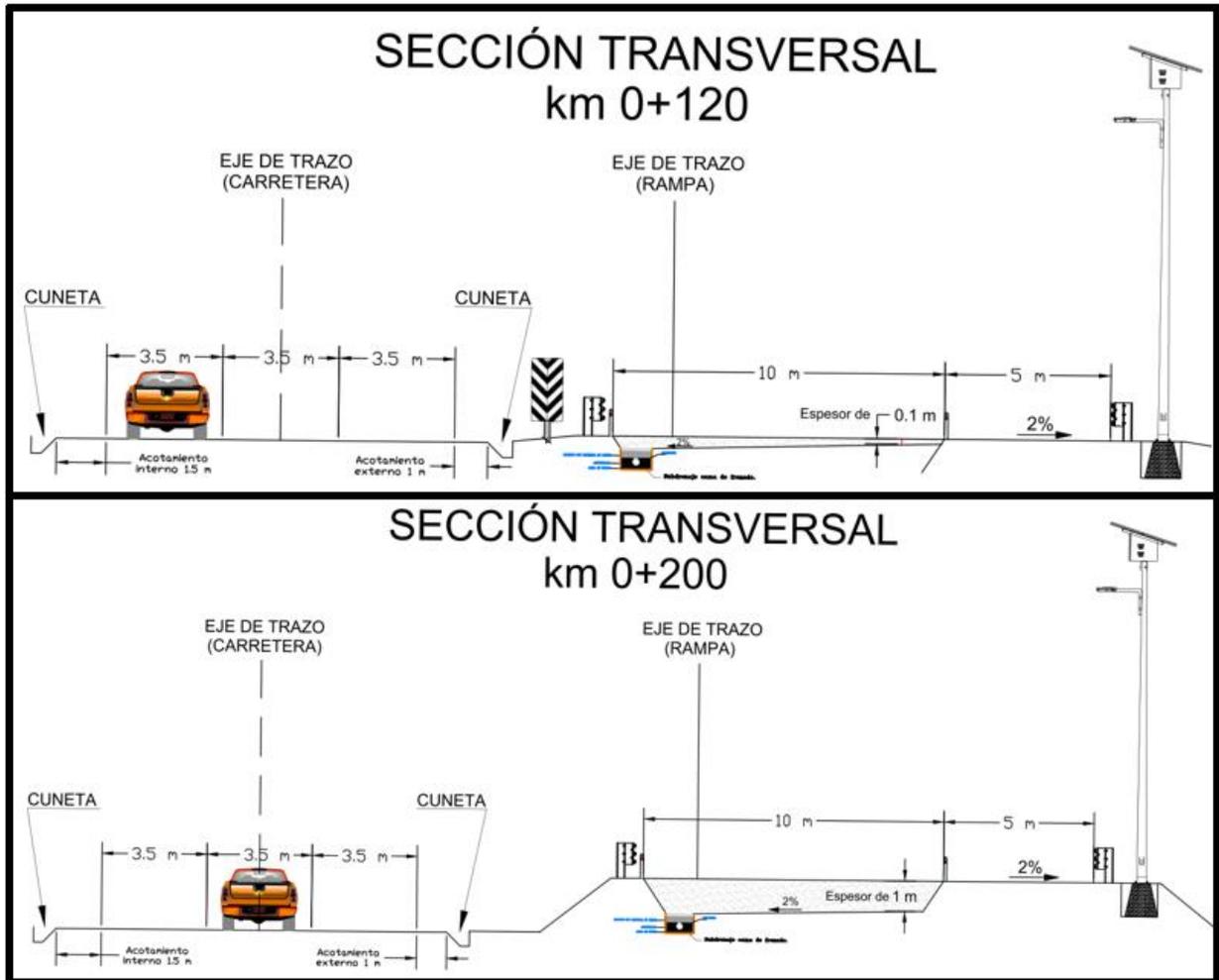


Imagen 62. Sección transversal conceptual de la propuesta 2.

Para esta propuesta no fueron desarrolladas las secciones transversales a cada veinte metros, esto debido a que se requieren de los estudios topográficos de este tramo, así como de los espacios fuera del derecho de vía que se pretenden ocupar; a diferencia de la propuesta uno que considera el uso de una gran parte del espacio ya ocupado por la rampa existente y que el proyecto se limita a una modernización de sus elementos, la propuesta dos requiere de una mayor cantidad de estudios para la caracterización del sitio, estos estudios requieren la obtención del derecho de vía, la cual estará en función del estudio de factibilidad económica que determine si esta propuesta traerá consigo

mayores beneficios que costos. Por lo anterior, las secciones transversales aquí presentadas en la Imagen 61 son conceptuales y no representan la configuración del terreno existente en el sitio; ya que a través de los estudios topográficos que sean realizados para la elaboración del proyecto ejecutivo, será posible la obtención de la planta, perfil de elevaciones y secciones transversales que ligen realmente ambos trazos (carretera y rampa de emergencia).

Se considera esta propuesta como una propuesta integral definitiva, ya que abarca la atención de las deficiencias halladas en la actual rampa y, además, atiende algunas otras deficiencias en la operación de la carretera, tal es el caso de los accesos a predios y establecimientos que no cuentan con la geometría adecuada para el cambio de velocidad; por lo anterior, con esta propuesta se atienden mediante un nuevo trazo, las condiciones geométricas y de ubicación ideales para que la rampa se apegue conforme lo establecido en la *NOM-036-SCT2-2016 Rampas de emergencia para frenado en carreteras*, asimismo, para atender las deficiencias halladas en la operación de la carretera, se plantean algunas soluciones tales como: el cierre de estos accesos mediante la construcción de la rampa de emergencia y la reubicación de los establecimientos a sitios que cuenten con la infraestructura adecuada, así como también puntualizar la necesidad de definir sitios en los cuales se puedan desarrollar los accesos necesarios y que no interfieran con el funcionamiento de la carretera; recordando que actualmente, esta carretera ya se encuentra rodeada por asentamientos humanos y que los niveles de servicio ya se encuentran rebasados, y que de acuerdo al crecimiento esperado del 2% anual, cálculo de proyección realizado en este trabajo, su operación se verá aún más afectada con el requerimiento de accesos y salidas de la carretera, por lo cual, se resalta que deberán ser realizados un conjunto de acciones y medidas que mitiguen las afectaciones originadas al crecimiento demográfico, por ello es recomendable establecer desde una etapa temprana las futuras necesidades que demandará la población y de esta manera se evitarán tener que realizar soluciones correctivas luego de haber generado una serie de problemas que afecten la seguridad de los usuarios.

una adecuada visibilidad de todas las señales. Anexo a este trabajo se encuentra una propuesta de proyecto ejecutivo del señalamiento que debería ser retirado, así como del señalamiento que debería ser instalado en el tramo, principalmente para encaminar al usuario hacia la rampa de emergencia para frenado que actualmente está construida, así como para la regulación de la velocidad previamente a la zona de curvas.

Una de las principales acciones que será obligatoria realizar para que cualquier dispositivo de seguridad que sea instalado tenga un adecuado funcionamiento y cumpla con su principal misión, es el mantenimiento general de todos sus elementos, por lo que para la evaluación de factibilidad de cualquiera de las 3 propuestas antes mencionadas se deberán considerar los costos de mantenimiento, los cuales pueden variar dependiendo del material de la cama de frenado, periodicidad con la que se realizará este procedimiento, la características climatológicas de la región en la que se ubica el dispositivo, entre algunos otros factores; si bien, no se deberían escatimar los recursos económicos en dispositivos que beneficien a la seguridad vial, son los recursos económicos los que repercutirán en la adecuada operación de los dispositivos; por ejemplo, si la construcción de una rampa es de cincuenta millones de pesos (\$50'000,000.00 mxn) pero, el mantenimiento que requiere es mensual y con un costo aproximado a un millón de pesos (\$1'000,000.00 mxn), en 5 años se estaría superando el presupuesto de construcción, lo que no resultaría factible para la empresa operadora o concesionaria de este dispositivo y que en cierto tiempo dejará de realizar los servicios de mantenimiento para la recuperación de su inversión, si este factor no se considera desde las primeras etapas de planeación, es muy probable que se construya un dispositivo que pueda convertirse en un peligro para aquellos usuarios que los usen, recordemos que estos dispositivos son muy susceptibles a los cambios meteorológicos debido a que los materiales de la cama de frenado suelen consolidarse con la presencia de agua; por lo que de manera práctica, es preferible la instalación de un dispositivo en el que sus elementos no requieran de un mantenimiento constante o costoso. Actualmente no existen dispositivos libres de mantenimiento, se espera que en un futuro existan esta clase de dispositivos que serán de gran ayuda para inhibir la existencia de personas heridas dentro de las rampas de emergencia con lesiones causadas por una detención inesperada o violenta.

Asimismo, la construcción o modernización de la rampa de emergencia no será una solución para tratar la siniestralidad del sitio, cabe destacar que gran parte de los accidentes de este tramo carretero es debido a las condiciones geométricas con las que fue diseñada la carretera y que hasta hoy en día no ha sido posible mejorar; con una zona de curvas horizontales de características geométricas deficientes de acuerdo al tipo de carretera proyectada y una pendiente longitudinal sostenida del 6% en promedio durante al menos 10 kilómetros, son los dos principales factores que repercuten en la seguridad vial de la carretera; por lo anterior, es recomendable realizar una corrección del trazo de la actual carretera si se pretende dar solución a la siniestralidad en este tramo. Si bien la modernización o construcción de una rampa de emergencia para frenado disminuirá la gravedad de los siniestros causados por los desperfectos mecánicos de los vehículos,

no eliminará la existencia de estos siniestros y probablemente sigan en aumento si no se da una atención al problema de raíz.

Es recomendable la implementación de nuevas tecnologías que cumplan con el mismo objetivo de detener a los vehículos fuera de control, tal y como lo hace una rampa de emergencia para frenado tradicional; actualmente, en otros países han sido realizadas pruebas a escala real a sistemas conformados por bobinas que contienen cintas de acero inoxidable, las cuales van adosadas a muros laterales de concreto hidráulico, la cinta es el principal elemento que absorbe y disipa la energía cinética de los vehículos fuera de control, desacelerándolos de forma controlada y segura, sin embargo, estos dispositivos no han cumplido con la totalidad de pruebas que aseguren su efectividad y seguridad con las diferentes configuraciones vehiculares, ya sea de vehículos ligeros o pick-ups, así como para autobuses de pasajeros; pero son estos sistemas los que pueden ser opción viable cuando se tengan restricciones de espacio disponible, ya que su principal beneficio es el aprovechamiento del más mínimo espacio para su instalación, ya que no requiere desarrollar grandes longitudes para que sea efectivo su uso, por lo que resulta una opción atractiva la colocación de estos sistemas en este sitio en particular, ya que, como ha sido reiterado a lo largo de este trabajo escrito, el tramo estudiado cuenta con una gran cantidad de siniestros viales. La investigación y desarrollo de nuevos sistemas para la detención de vehículos con problemas en sus sistemas de frenado resulta fundamental en favor de la seguridad vial, por lo que la instalación de estos nuevos sistemas en los sitios donde las rampas de emergencia para frenado tradicionales no garantizan la seguridad de los usuarios debería considerarse como una opción factible para la atención de la siniestralidad originada por un mal diseño geométrico de una rampa de emergencia para frenado, esto no quiere decir que sea instalado cualquier sistema que no haya sido probado con anterioridad o que no tengan sustento numérico que garantice su correcto desempeño y que su instalación sea una prueba experimental con vidas humanas, sino que sean instalados sistemas que hayan sido probados en las condiciones más críticas obteniendo resultados favorables, y que su diseño no ponga en riesgo la integridad de los ocupantes de un vehículo; así mismo, la instalación de dispositivos no es la única acción que coadyuve a la disminución en la siniestralidad del tramo, también podrán complementarse otro tipo de acciones tales como las inspecciones al estado Físico-Mecánico de los vehículos de carga que circulen en el tramo, donde podrán ser instalados en sitios previos a la pendiente descendente, puntos de inspección mediante los cuales de manera general, sean realizadas inspecciones visuales a los vehículos de carga, y que además, mediante la instalación sistemas de pesaje dinámico, sea verificado el cumplimiento del peso máximo de carga de acuerdo a la NOM-012-SCT2-2017 “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”, el cual es un factor que persiste en muchos de los siniestros con vehículos de carga. Para observar el funcionamiento de esta nueva tecnología para la detención de vehículos se recomienda observar los siguientes videos en la plataforma youtube:

- <https://youtu.be/5H5daCOQUEI>,
- https://youtu.be/xC_i9KSkW8

- <https://youtu.be/nlV7qVmsNec>

Por otra parte, es recomendable que, para aquellos nuevos proyectos de caminos, estos sean diseñados con mayores estándares de seguridad, siguiendo las nuevas tendencias de vías autoexplicativas aunque ello implique una mayor inversión para su construcción, ya que como se ha expuesto en este trabajo, los caminos que siguen una tendencia para disminuir los costos de construcción, son caminos en los que se presenta una alta siniestralidad, dejando muchas víctimas fatales cada año, y que a pesar de realizar acciones de mejora, estas únicamente son temporales y no atienden integralmente los problemas de raíz, siendo este el caso de la carretera libre de peaje México – Toluca; se insta a realizar diseños geométricos que cumplan con lo establecido en las normativas vigentes y evitar diseños con tendencias a los valores críticos establecidos en estas mismas, y que desde la etapa de planeación, se consideren las futuras modernizaciones, así como los futuros entronques con otras vialidades, los asentamientos humanos, los cuales son un factor importante en la seguridad vial, y la construcción de paradores donde puedan ser establecidos de manera ordenada los comercios aledaños a la vialidad.

Aún se tienen muchas tareas por realizar para realmente cumplir con la meta establecida por el Segundo Decenio de Acción por la Seguridad Vial 2021 – 2030, así como, para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, de la cual México forma parte, por lo que se deberá trabajar continuamente y de la mano con dependencias públicas y privadas para el mejoramiento de los caminos en México.

Bibliografía

- Luis Jáuregui, “*Los transportes, siglos XVI al XX*”, en Enrique Semo (coord.), *Historia Económica de México*, Vol. 13, México, Océano-UNAM, 2004.
- México 200 Años. “*La Patria en Construcción*”, México, Chapa Ediciones, 2010.
- Julio A. Millán y Antonio Alonso Concheiro (coords.), “*México 2030. Nuevo siglo, nuevo país*”, México, FCE, 2000.
- Raúl Salas Rico, “*Evolución histórica de los caminos rurales y alimentadores en México*”, México, Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C., 2011.
- Del Río, Fanny y Carlos Vega. “*El Autotransporte*”. México, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1988 (Serie: Historia de las Comunicaciones y los Transportes en México).
- Freeman, John Brian. “*Transnational Mechanics: Automobility in Mexico, 1895-1950*”, tesis de doctorado en Filosofía, The City University of New York, 2012
- Dirección General de Servicios Técnicos, “*Manual De Señalización Vial Y Dispositivos De Seguridad*”, Sexta Edición 2014 corregida y aumentada, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Octubre 2014
- Dirección General de Servicios Técnicos, “*Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras*”, Tercera edición, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Julio 2018
- Roberto García Benavides. “*Hitos de las Comunicaciones y los Transportes en la Historia de México*”. Dirección General de Comunicación Social de la SCT, México, 1988.
- “*México a través de los informes presidenciales*”. T. 8. Secretaría de la Presidencia, México, 1976.
- Roberto García Benavides. *Hitos de las Comunicaciones y los Transportes en la Historia de México*. 1988. México. Secretaría de Comunicaciones y Transportes
- Héctor Daniel Resendiz López, Armando Martínez Santiago. “*Características Geográficas y Socioeconómicas De Los Corredores Carreteros.*” Recuperado el 18 de enero de 2024 a través de:
https://geodigital.igg.unam.mx/geografia_mexico/index.html/grals/Tomo_II/geo_mex_igg_c42.pdf
- Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP). “*Guía General Para La Preparación Y Presentación De Estudios De Evaluación Socioeconómica De Proyectos carreteros.*” Recuperado el 18 de enero de 2024 a través de:

https://www.cepep.gob.mx/work/models/CEPEP/metodologias/documentos/guia_proyectos_carreteros.pdf

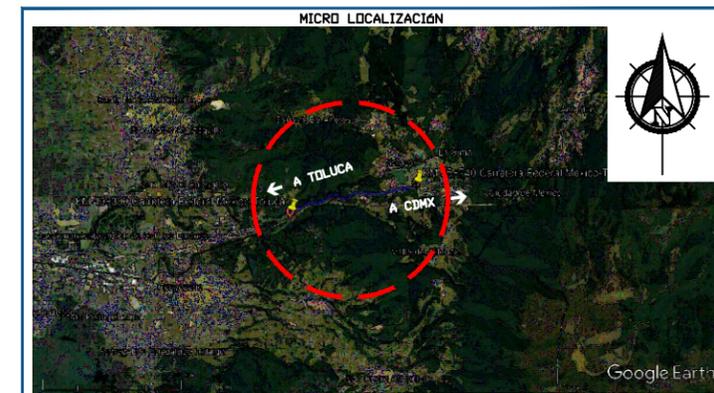
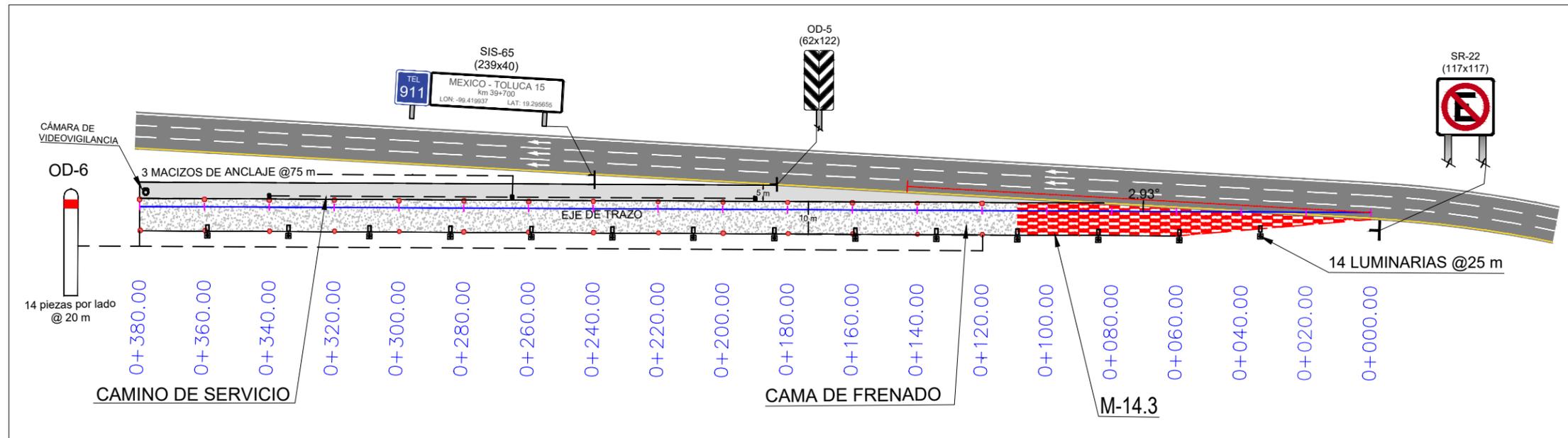
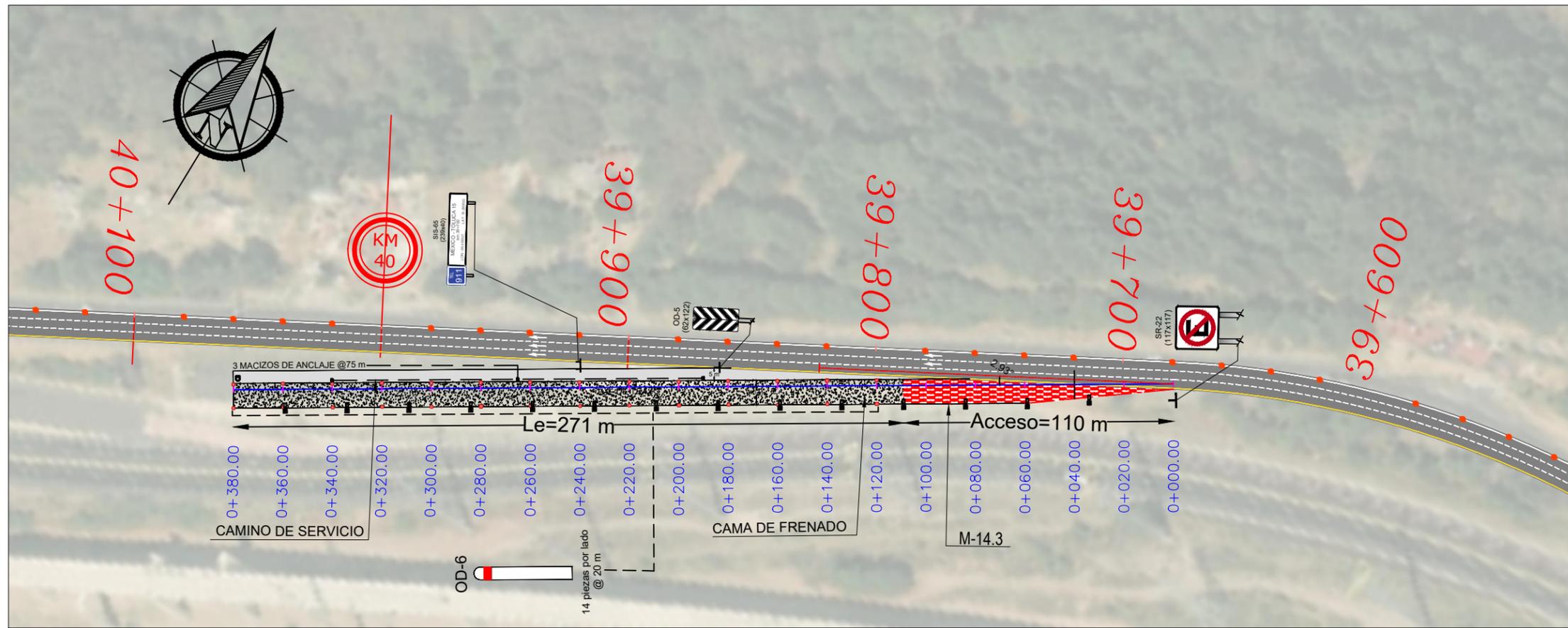
- Instituto Mexicano del Transporte (IMT) . “*Recomendaciones de actualización de algunos elementos del proyecto geométrico de carreteras*”, NOTAS núm. 101, agosto 2006, artículo 2. Recuperado el 20 de enero de 2024 a través de: <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=296&IdBoletin=102#:~:text=Se%20entiende%20por%20est%C3%A1ndar%20de,carretera%20corresponde%20a%20las%20autopistas.>
- Pineda, Cadengo, Casanova y Mendoza, Instituto Mexicano del Transporte (IMT) , “*Medidas de mejora para problemas de seguridad vial en la infraestructura*”, Publicación Técnica No. 563 Sanfandila, Qro, 2019. Recuperado el 20 de enero de 2024 a través de: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt563.pdf>
- Mendoza, Quintero y Mayoral, Instituto Mexicano del Transporte (IMT), “*Algunas Consideraciones De Seguridad Para El Proyecto Geométrico De Carreteras*”, Publicación Técnica No. 217 Sanfandila, Qro. 2002. Recuperado el 20 de enero de 2024 a través de: <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt217.pdf>
- Pérez, Cuevas, Abarca y Mendoza, Instituto Mexicano del Transporte (IMT), “*Comparación estadística entre la clasificación por estrellas y la accidentalidad en carreteras federales*”, Notas núm. 157, Noviembre-Diciembre 2015, artículo 1. Recuperado el 20 de enero de 2024 a través de: <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=419&IdBoletin=157>
- “*Tráiler pierde el control, frena en rampa de emergencia sobre la México-Toluca*”, Portal web Digital Mex, Martes 04 Mayo 2021, Recuperado el 20 de marzo de 2024 a través de: <https://www.digitalmex.mx/municipios/story/27264/trailer-pierde-el-control-frena-en-rampa-de-emergencia-sobre-la-mexico-toluca>

GLOSARIO

- **Arroyo vial:** Franja destinada a la circulación de los vehículos, delimitada por los acotamientos o las banquetas.
- **Auditorías de Seguridad Vial:** Metodología aplicable a cualquier infraestructura vial para identificar, reconocer y corregir las deficiencias antes de que ocurran siniestros viales o cuando éstos ya están sucediendo. Las auditorías de seguridad vial buscan identificar riesgos de la vía con el fin de emitir recomendaciones que, al materializarse, contribuyan a la reducción de los riesgos.
- **Corona:** Superficie terminada de una vialidad comprendida entre sus hombros o guarniciones de una calle.
- **Cortes:** Excavaciones ejecutadas a cielo abierto en el terreno natural, en ampliación de taludes, en rebajes en la corona de terracerías existentes y en derrumbes, con objeto de preparar y formar la sección de la obra, de acuerdo con lo indicado en el proyecto o lo establecido por la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.
- **Derecho de vía:** Franja de terreno que se requiere para la construcción, conservación, ampliación, protección y en general para el uso adecuado de una vía general de comunicación ferroviaria, cuyas dimensiones y características fije la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.
- **Diseño universal:** Se entenderá el diseño de productos, entornos, programas y servicios en materia de movilidad y seguridad vial, que puedan utilizar todas las personas, en la mayor medida posible, sin necesidad de adaptación ni diseño especializado. El diseño universal no excluirá las ayudas técnicas para grupos particulares de personas con discapacidad cuando se necesiten.
- **Dispositivo de seguridad:** Aditamento, sistema o mecanismo dispuesto para las personas en favor de la seguridad de la vida, la salud y la integridad durante sus traslados.
- **Movilidad:** El conjunto de desplazamientos de personas, bienes y mercancías, a través de diversos modos, orientado a satisfacer las necesidades de las personas.
- **MPGC:** Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras.
- **Pendiente:** Relación que existe entre el desnivel y la distancia horizontal entre dos puntos
- **Persona peatona:** Persona que transita por la vía a pie o que por su condición de discapacidad o de movilidad limitada utilizan ayudas técnicas para desplazarse; incluye menores de doce años a bordo de un vehículo no motorizado.
- **Persona usuaria:** La persona que realiza desplazamientos haciendo uso del sistema de movilidad.
- **SCOP:** Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas.

- **Seguridad vial:** Conjunto de políticas y sistemas orientados a controlar los factores de riesgo, con el fin de prevenir y reducir las muertes y lesiones graves ocasionadas por siniestros de tránsito.
- **Señalización:** Conjunto integrado de dispositivos, marcas y señales que indican la geometría de las vías, sus acotamientos, las velocidades máximas, la dirección de tránsito, así como sus bifurcaciones, cruces y pasos a nivel, garantizando su adecuada visibilidad de manera permanente.
- **SICT:** Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes
- **Siniestro de tránsito:** Cualquier suceso, hecho, accidente o evento en la vía pública derivado del tránsito vehicular y de personas, en el que interviene por lo menos un vehículo y en el cual se causan la muerte, lesiones, incluidas en las que se adquiere alguna discapacidad, o daños materiales, que puede prevenirse y sus efectos adversos atenuarse.
- **Sistemas seguros:** Prácticas efectivas, eficientes y prioritarias, que redistribuyen responsabilidades entre los diversos actores relacionados con la movilidad y no solo con las personas usuarias, cobran especial relevancia las vías libres de riesgos, los sistemas de seguridad en el transporte, en los vehículos y las velocidades seguras.
- **Sobreelevación:** Diferencia de nivel transversal en la superficie de rodadura.
- **Superficie de rodadura:** Área de una vía de circulación, rural o urbana, sobre la que transitan vehículos automotores.
- **Talud:** Inclinación de la superficie de los cortes o de los terraplenes.
- **TDPA:** Tránsito Diario Promedio Anual, Promedio del volumen diario de vehículos que transitan en un año en un punto del camino.
- **Transporte:** Es el medio físico a través del cual se realiza el traslado de personas, bienes y mercancías.
- **Vehículo:** Modo de transporte diseñado para facilitar la movilidad y tránsito de personas o bienes por la vía pública, propulsado por una fuerza humana directa o asistido para ello por un motor de combustión interna, eléctrico o cualquier fuerza motriz.
- **Velocidad de proyecto:** Es la velocidad de referencia para dimensionar ciertos elementos de la carretera o vialidad urbana. Se fija de acuerdo con la función de la carretera o vialidad urbana, la velocidad deseada por los conductores y restricciones financieras.
- **Velocidad de operación:** Velocidad establecida por las autoridades correspondientes en los reglamentos de tránsito.
- **Vía:** Espacio físico destinado al tránsito de personas peatonas y vehículos.
- **Vialidad:** Conjunto integrado de vías de uso común que conforman la traza urbana

ANEXOS



SIMBOLOGÍA Y DATOS APLICABLES A SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS

+ Señal con poste propio
 ⊥ Señal con poste propio
 ⊥⊥ Señal con dos postes
 — Señal tipo bandera
 — Señal tipo bandera doble
 — Señal tipo puente

Señalamiento vertical proyecto: Clave de la Señal Dimensiones (cm)

— Raya separadora de sentidos de carriles, discontinua (M-2.3)
 — Raya en la orilla derecha, continua (M-3.1)
 — Raya en la orilla izquierda, continua (M-3.3)
 — Raya discontinua para frenado de emergencia (M-14.1)
 — Raya continua para frenado de emergencia (M-14.2)
 ■ Botones reflejantes (DH-1.17 / DH 1.18) rojo
 ● Indicador de alineamiento (OD-6)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		FECHA SEP 2024
CARRETERA : MÉXICO - TOLUCA		PLANO 1/1
PLANO: MODERNIZACIÓN DE RAMPA EXISTENTE (PROPUESTA 1)		
SUBTRAMO: KM 39+700		
T R A M O		E S T A D O
T. DER HUIXQUILUCAN - STGO TINAGUISTENCO		ESTADO DE MÉXICO
REVISÓ	ELABORÓ	
M. EN C. SERGIO GERMAN HERRERA DEL ÁNGEL	CHRISTIAN ALAN CASTRO ARELLANO	

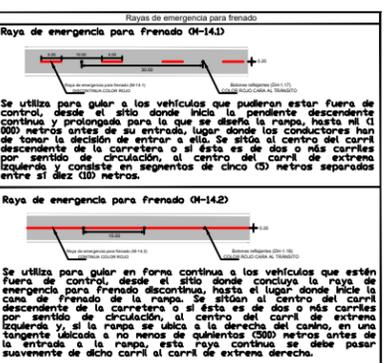
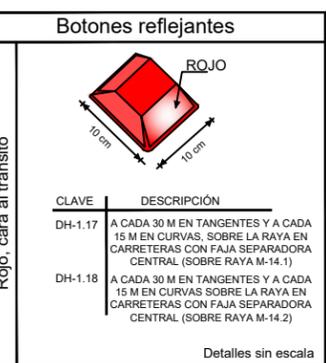
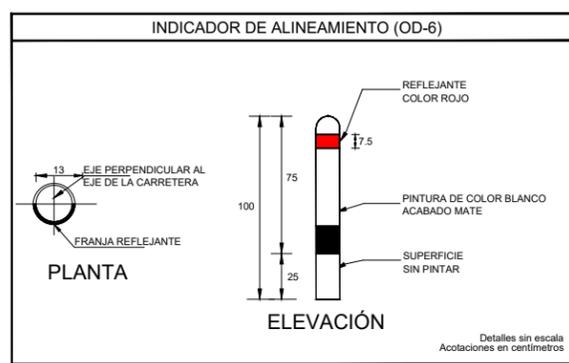
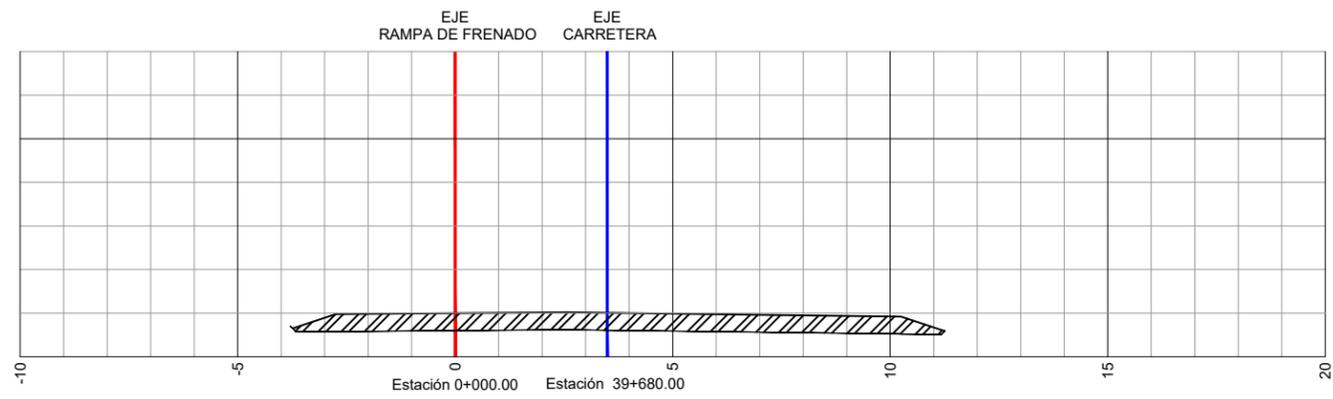
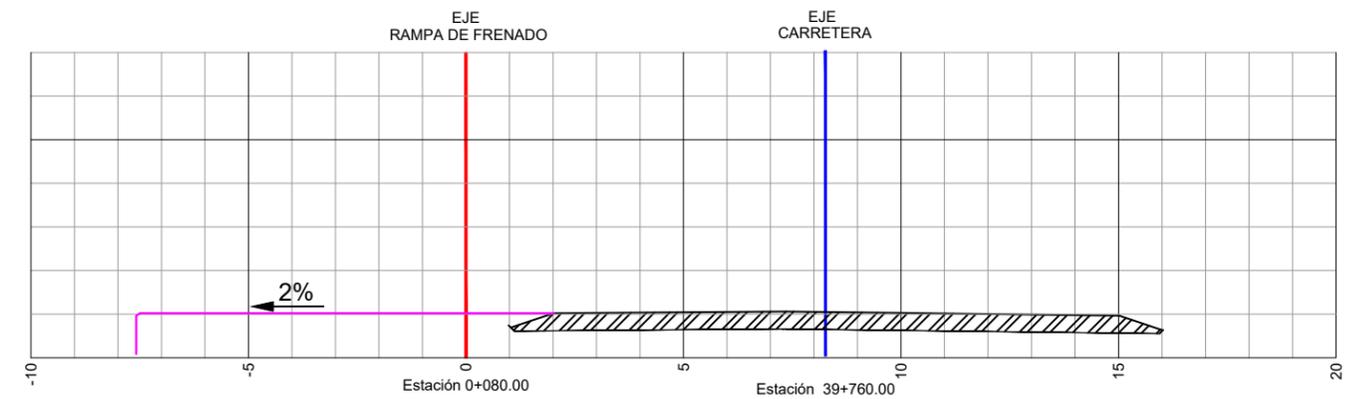
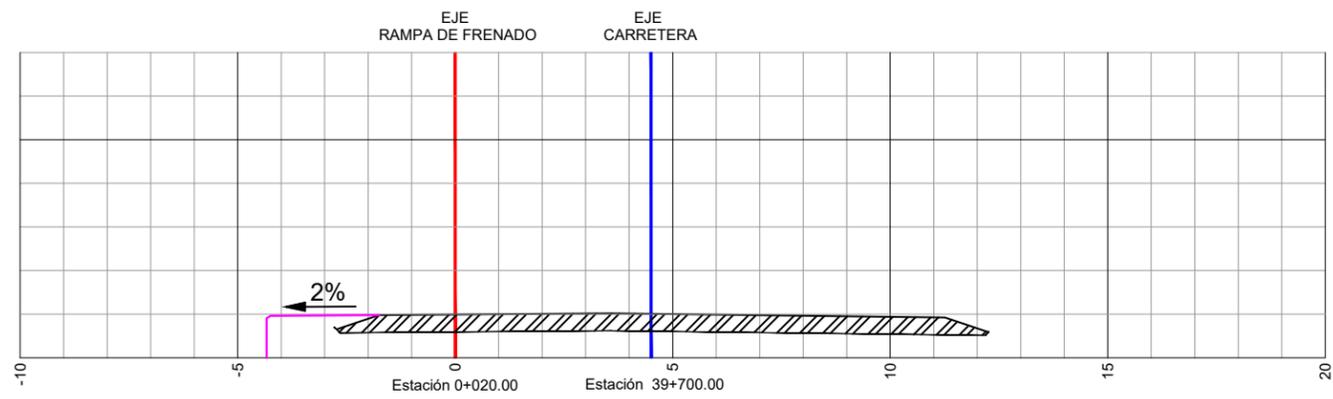
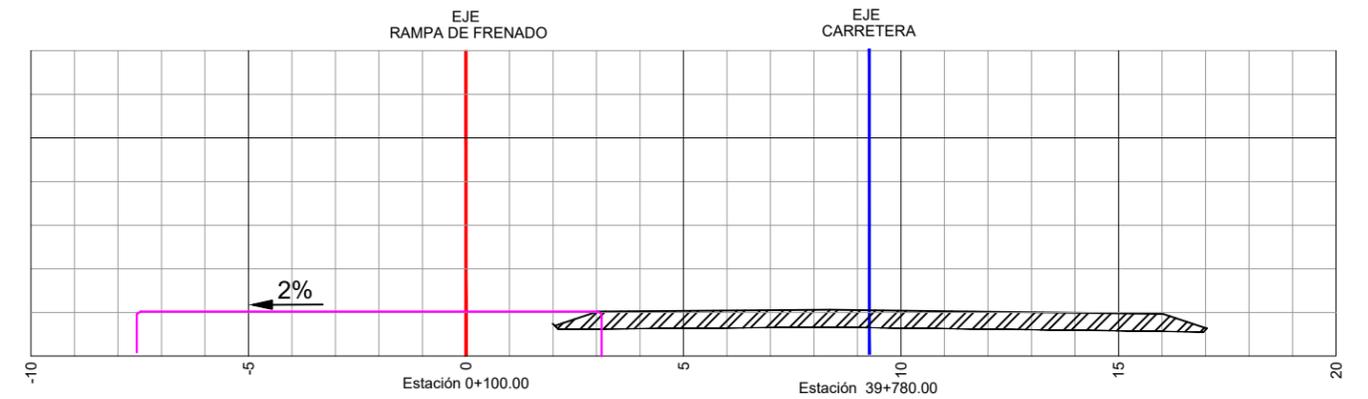
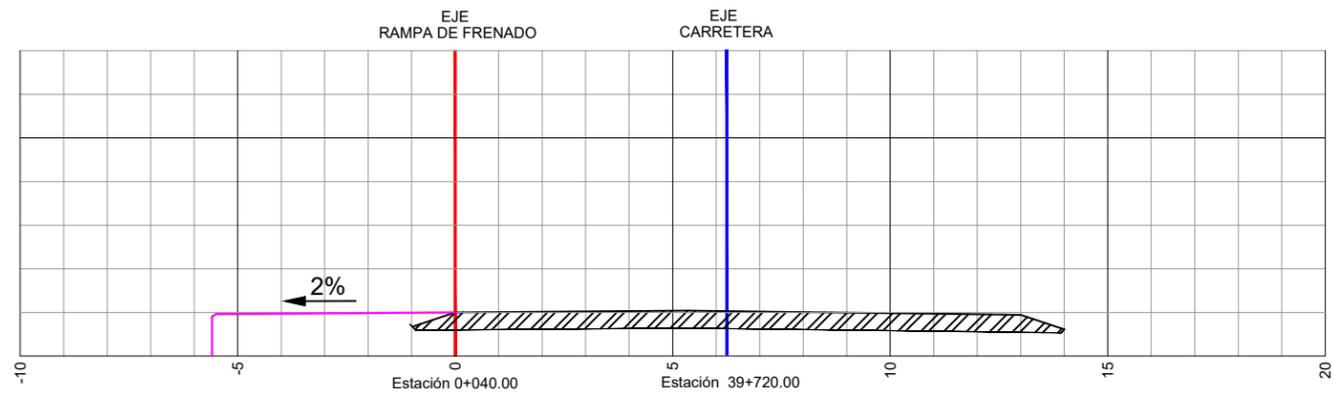
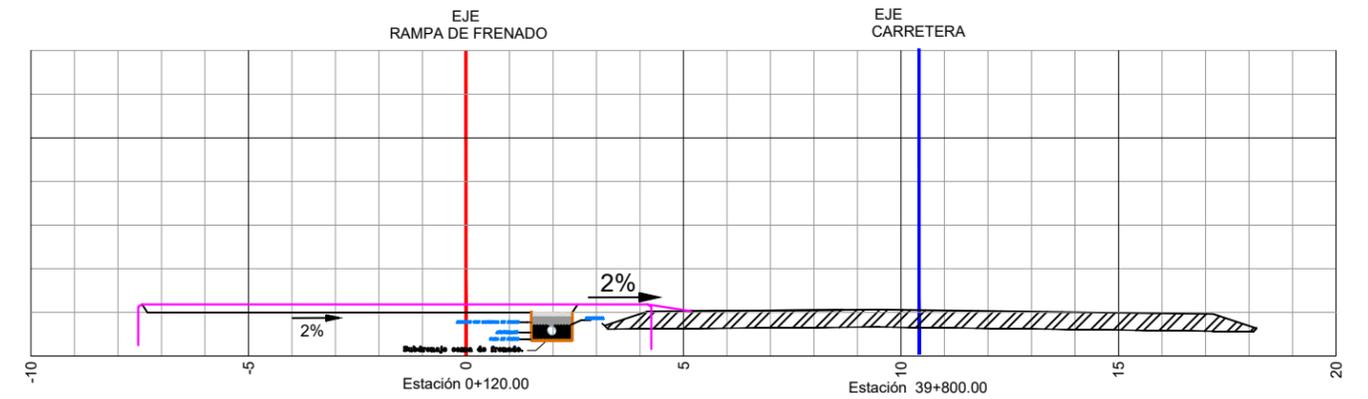
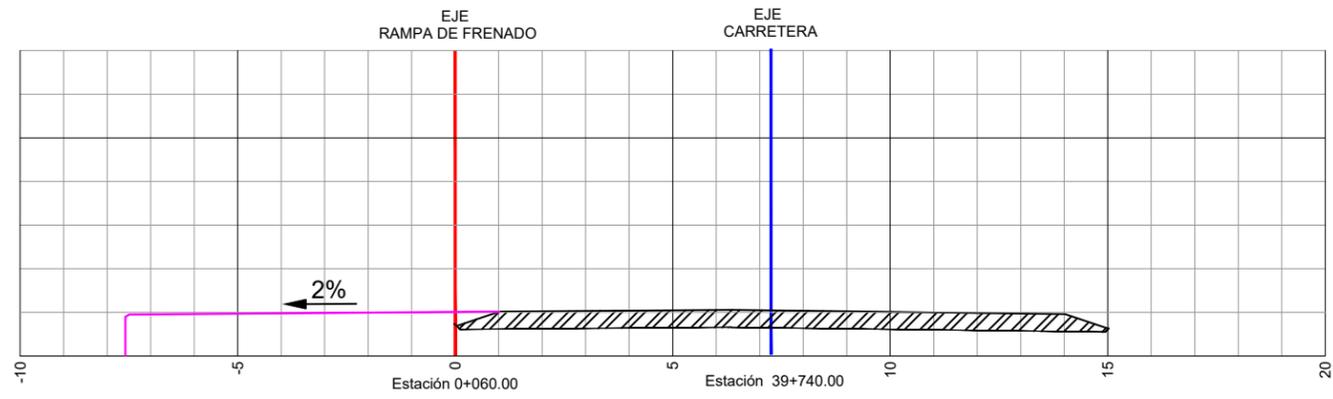


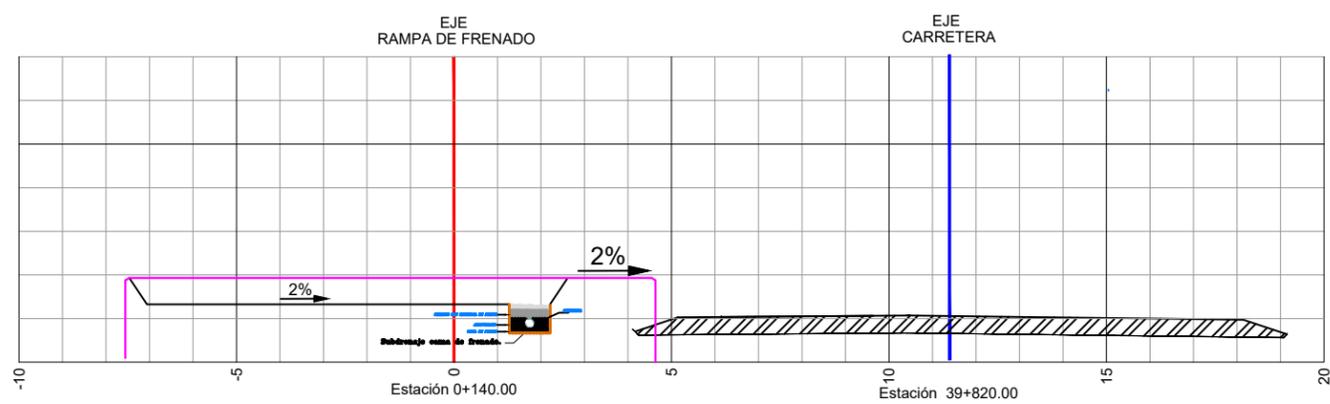
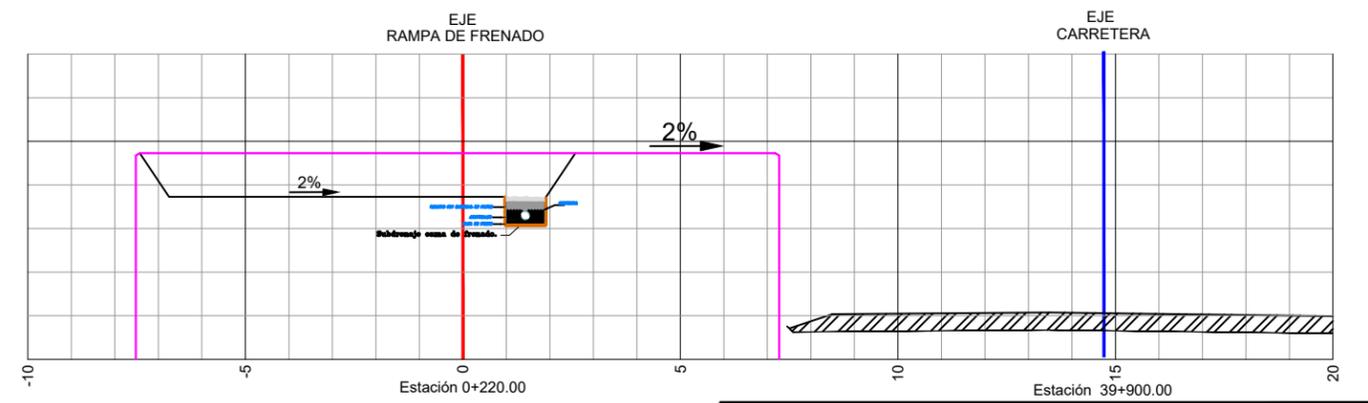
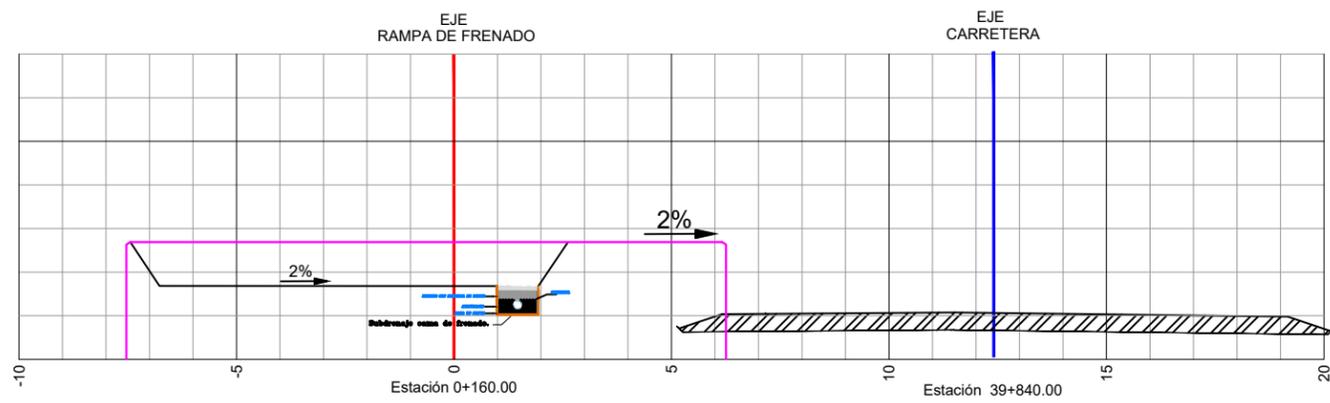
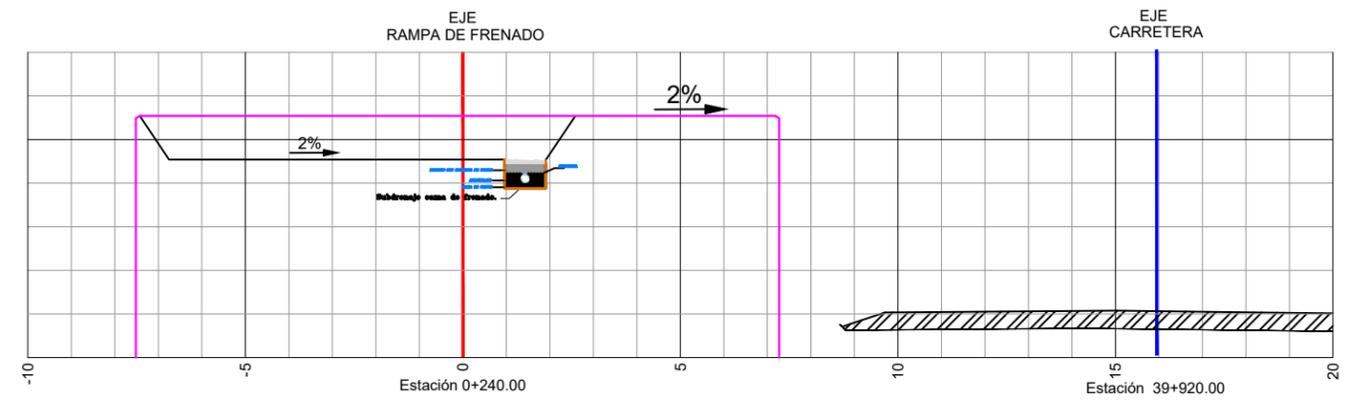
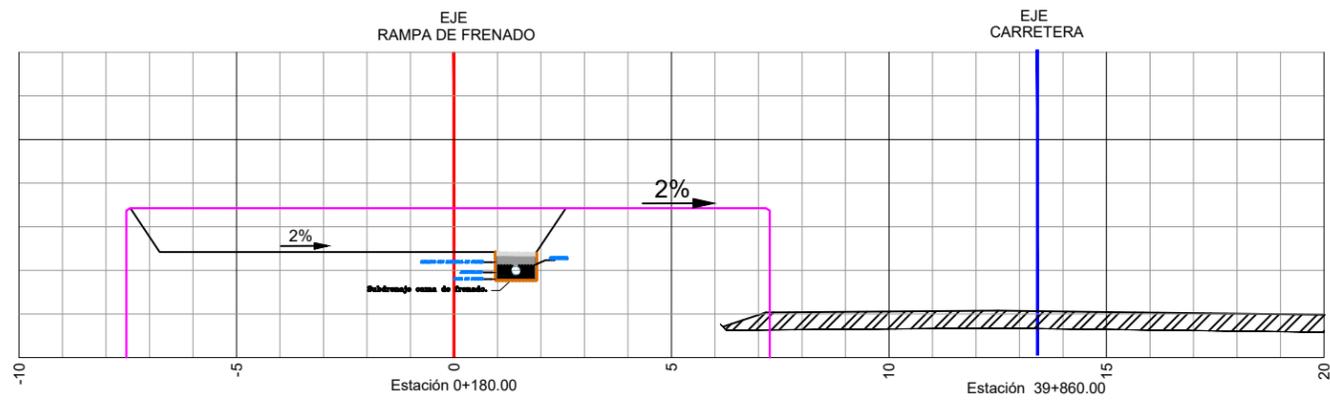
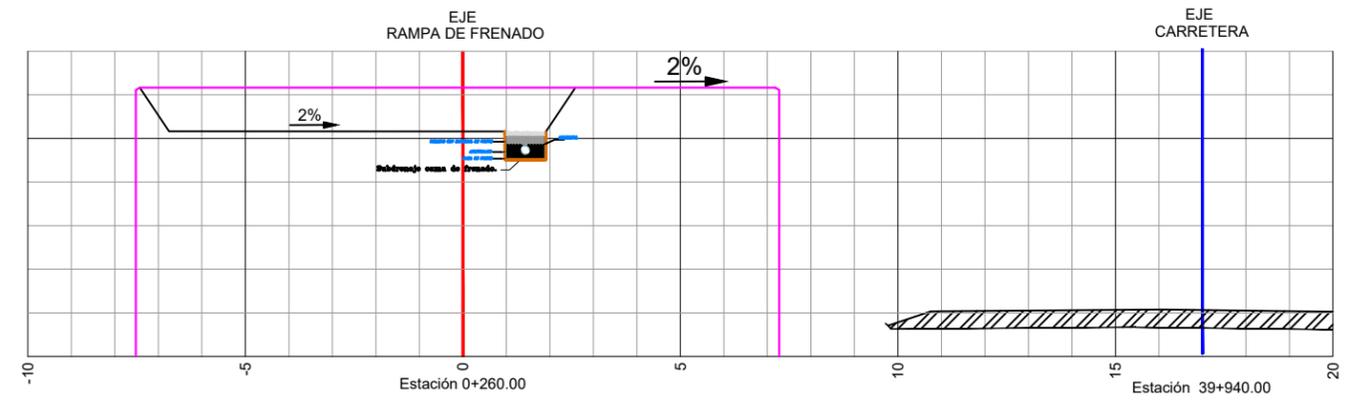
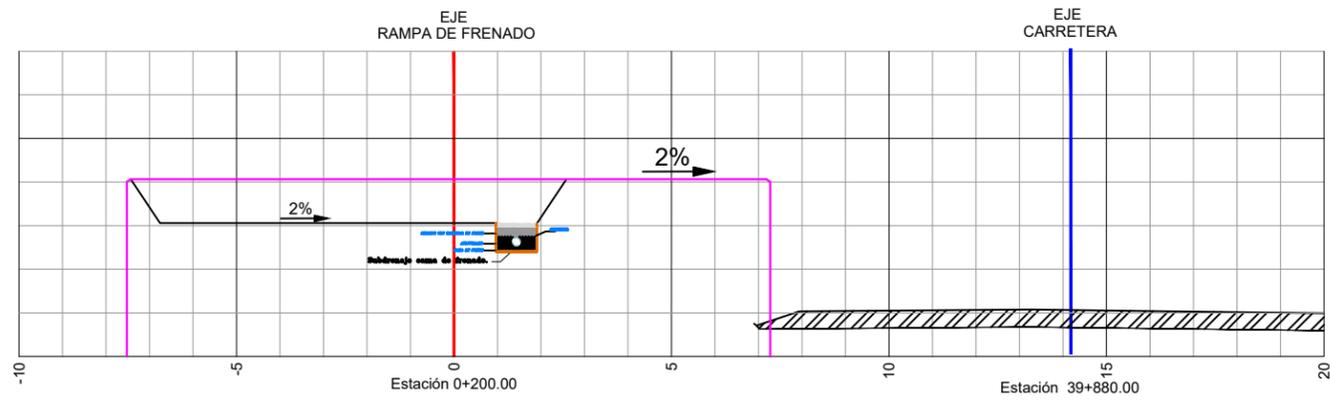
TABLA 3.- Coordenadas que definen el área cromática para el color rojo que se utilicen en las marcas para señalamiento horizontal y coeficientes mínimos de reflexión

Color	Punto N°	Coordenadas		Coeficiente mínimo de reflexión (mcd/m²) / m²					
		x	y	Pintura base agua	Vida de proyecto	Pintura termoplástica	Vida de proyecto		
Rojo	1	0.613	0.297	35	24	11	51	39	23
	2	0.788	0.228						
	3	0.636	0.364						
	4	0.558	0.352						



SIMBOLOGÍA	
	EJE DE TRAZO DE CARRETERA
	EJE DE TRAZO DE RAMPA
	SUPERFICIE DE RODAMIENTO EXISTENTE
	VOLUMEN PARA LA AMPLIACIÓN Y CONSTRUCCIÓN

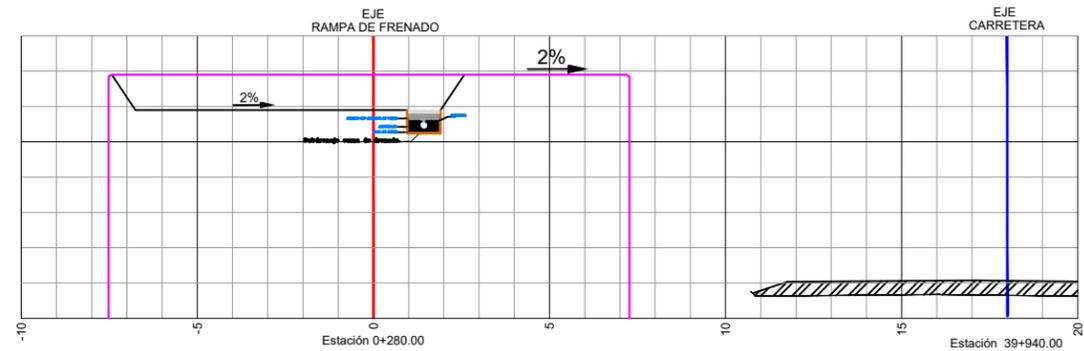
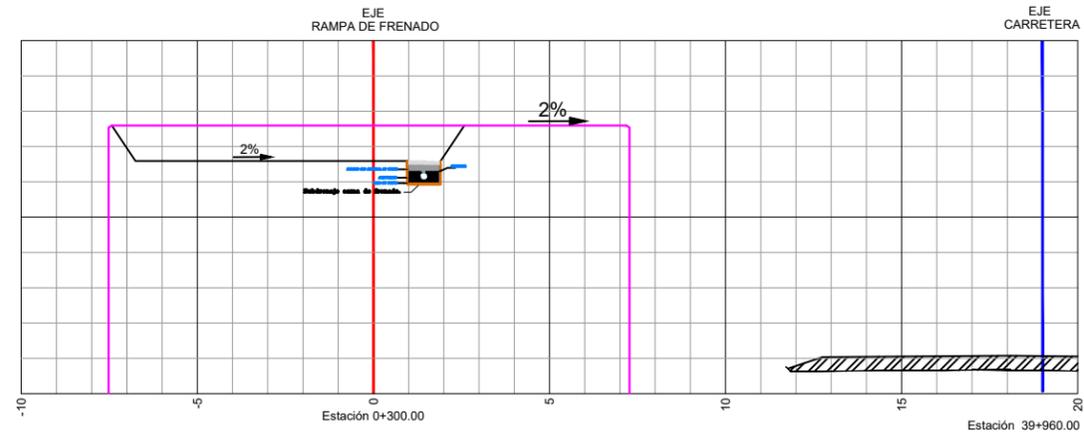
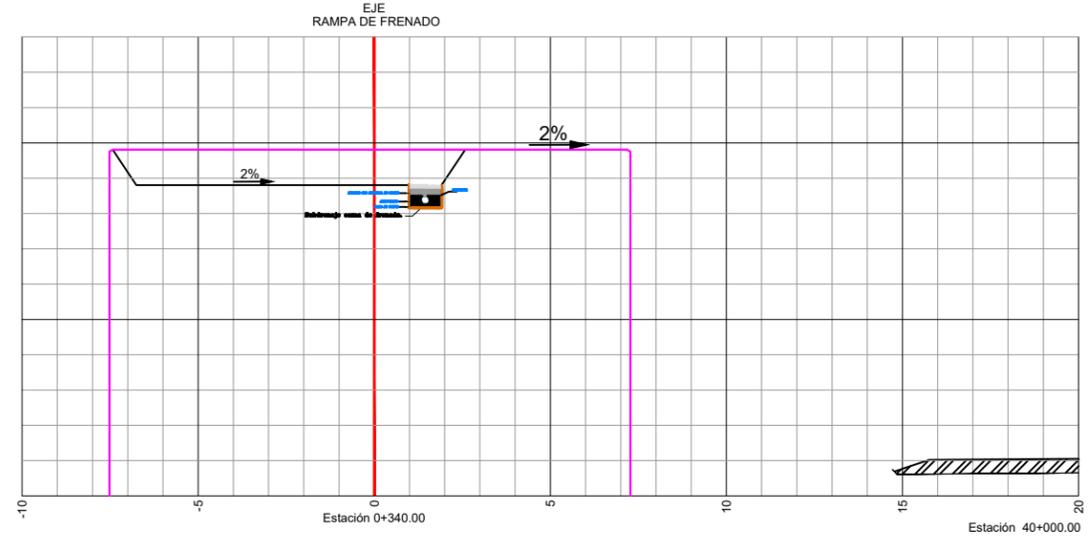
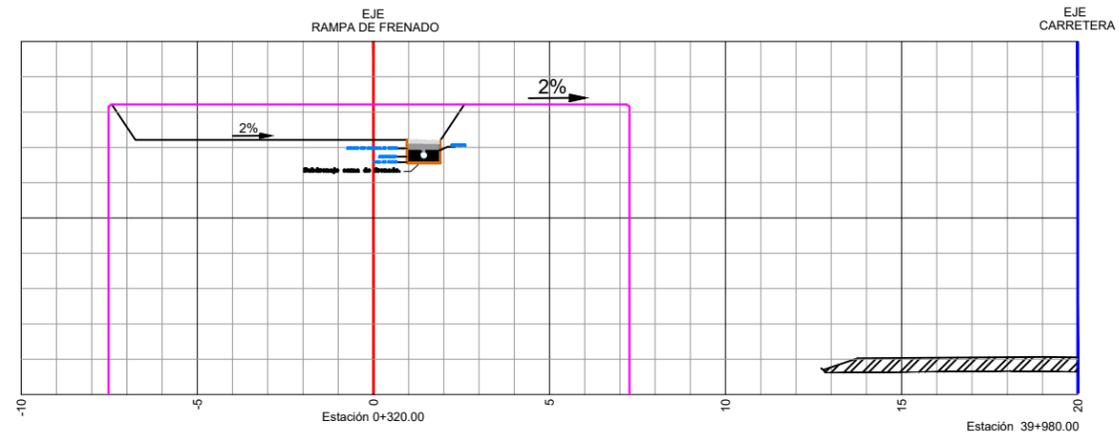
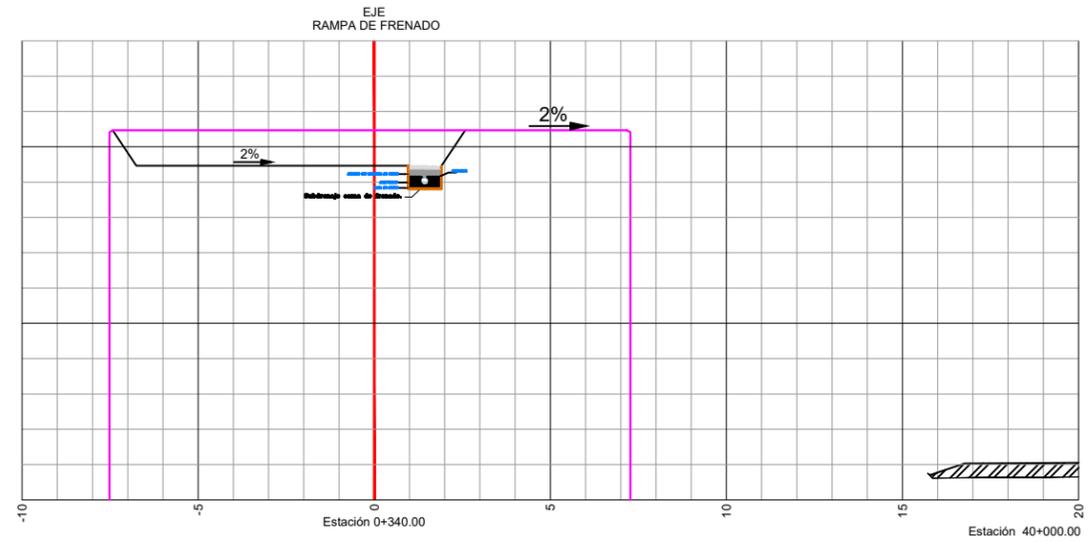
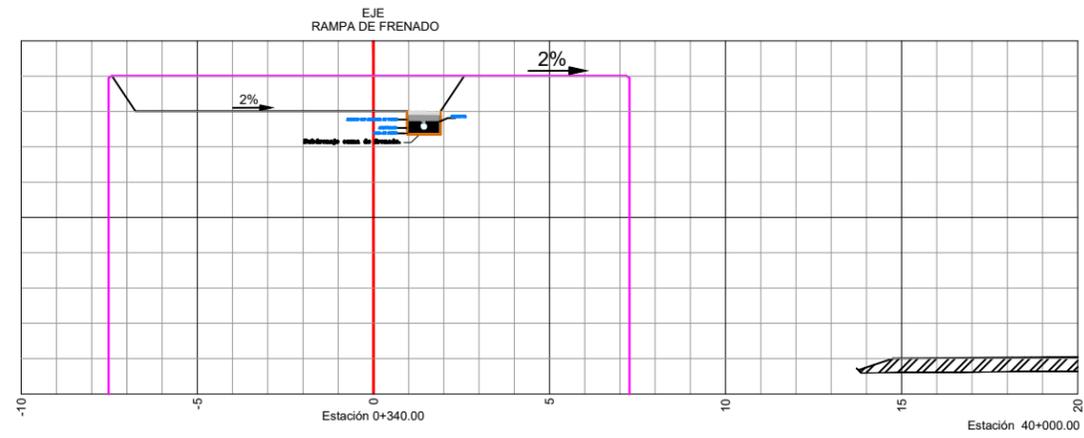
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		FECHA SEP 2024
CARRETERA : MÉXICO - TOLUCA		PLANO 1/3
PLANO: Secciones Transversales Propuesta 1		
SUBTRAMO: KM 39+800		
T R A M O		E S T A D O
T. DER HUIXQUILUCAN - STGO TINAGUISTENCO		ESTADO DE MÉXICO
REVISÓ	ELABORÓ	
M. EN C. SERGIO GERIMÁN HERRERA DEL ÁNGEL	CHRISTIAN ALAN CASTRO ARELLANO	



SIMBOLOGÍA

- EJE DE TRAZO DE CARRETERA
- EJE DE TRAZO DE RAMPA
- SUPERFICIE DE RODAMIENTO EXISTENTE
- VOLUMEN PARA LA AMPLIACIÓN Y CONSTRUCCIÓN

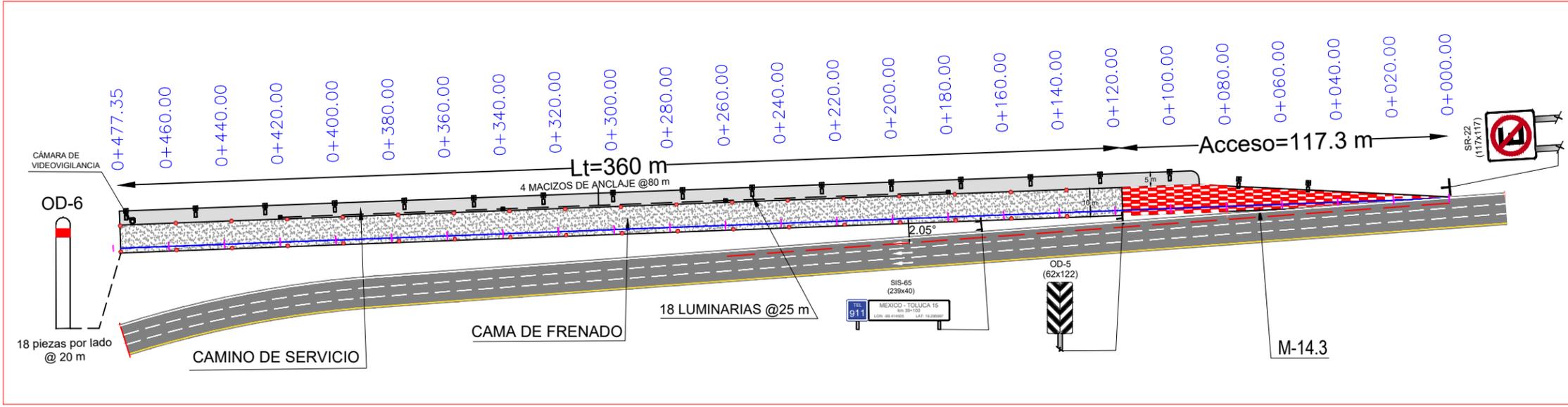
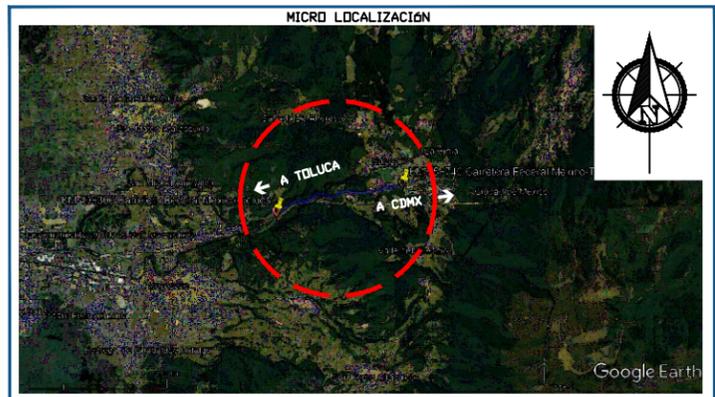
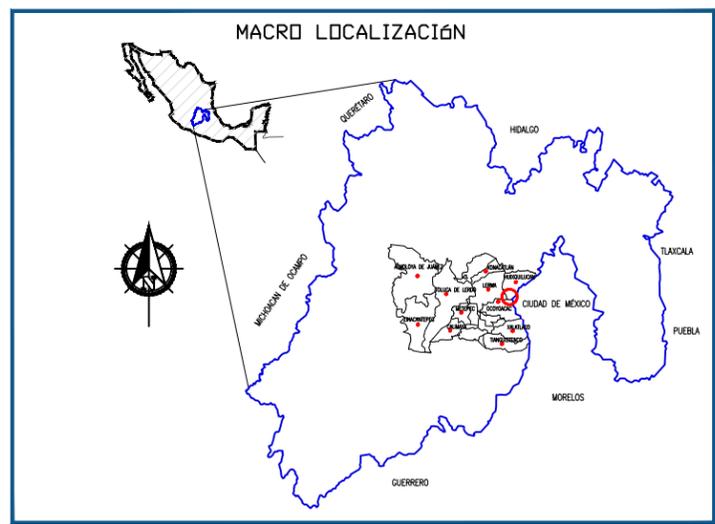
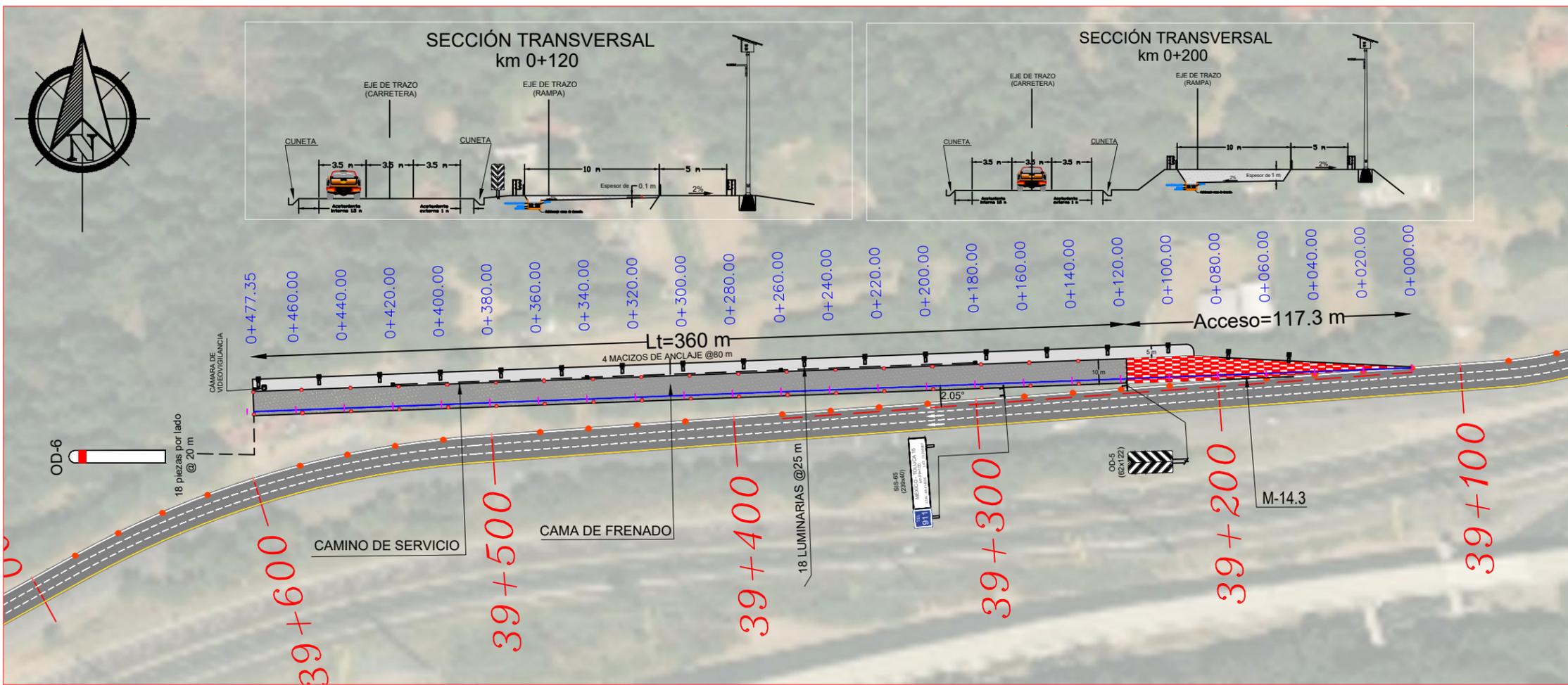
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		FECHA SEP 2024
CARRETERA : MÉXICO - TOLUCA		PLANO 2/3
PLANO: Secciones Transversales Propuesta		
SUBTRAMO: KM 39+800		
T R A M O		E S T A D O
T. DER HUIXQUILUCAN - STGO TINAGUISTENCO		ESTADO DE MÉXICO
REVISÓ	ELABORÓ	
M. EN C. SERGIO GERMAN HERRERA DEL ÁNGEL	CHRISTIAN ALAN CASTRO ARELLANO	



SIMBOLOGÍA

	EJE DE TRAZO DE CARRETERA
	EJE DE TRAZO DE RAMPA
	SUPERFICIE DE RODAMIENTO EXISTENTE
	VOLUMEN PARA LA AMPLIACIÓN Y CONSTRUCCIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		FECHA SEP 2024
CARRETERA : MÉXICO - TOLUCA		PLANO 3/3
PLANO: Secciones Transversales Propuesta 1		
SUBTRAMO: KM 39+800		
T R A M O		E S T A D O
T. DER HUIXQUILUCAN - STGO TINAGUISTENCO		ESTADO DE MÉXICO
REVISÓ	ELABORÓ	
M. EN C. SERGIO GERMAN HERRERA DEL ANGEL	CHRISTIAN ALAN CASTRO ARELLANO	



SIMBOLOGÍA Y DATOS APLICABLES A SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS

+ Señal con poste propio
 ⊥ Señal con poste propio
 ⊥⊥ Señal con dos postes

— Señal tipo bandera
 — — Señal tipo bandera doble
 — — Señal tipo puente

Señalamiento vertical proyecto: Clave de la Señal Dimensiones (cm)

SR-22 (17x117)
 OD-6 (23x40)
 OD-5 (62x122)

--- Raya separadora de sentidos de carriles, discontinua (M-2.3)
 --- Raya en la orilla derecha, continua (M-3.1)
 --- Raya en la orilla izquierda, continua (M-3.3)
 --- Raya discontinua para frenado de emergencia (M-14.1)
 --- Raya continua para frenado de emergencia (M-14.2)
 ■ Botones reflejantes (DH-1.17 / DH 1.18) rojo
 ● Indicador de alineamiento (OD-6)

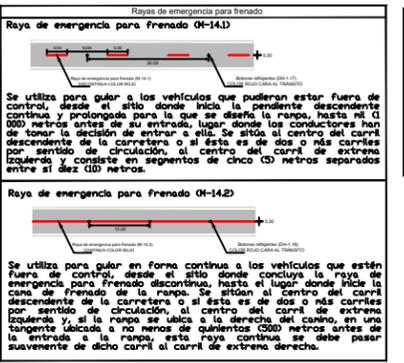
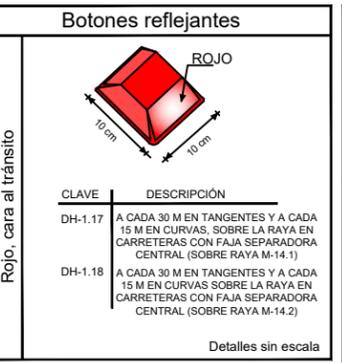
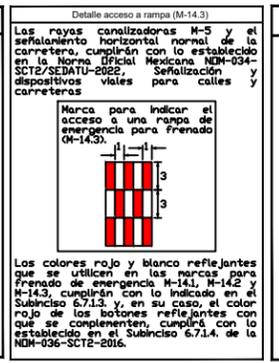
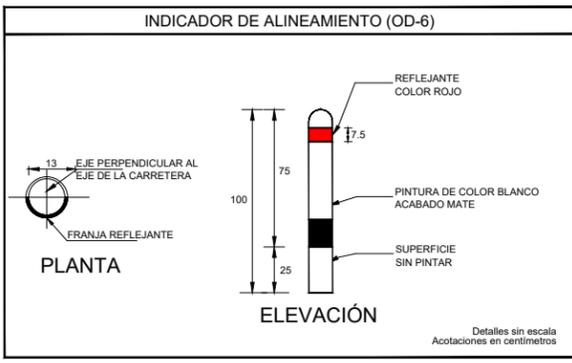
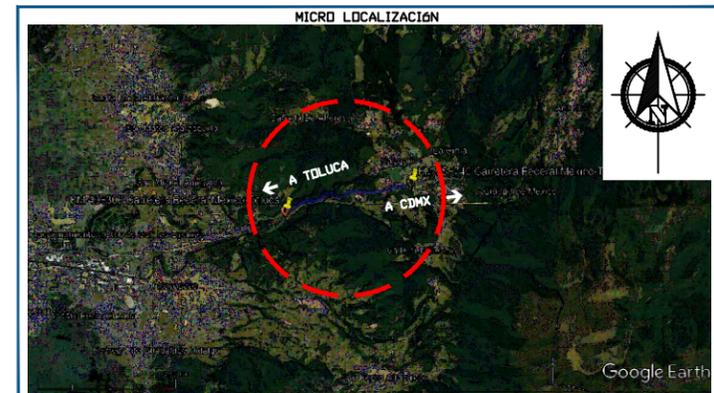
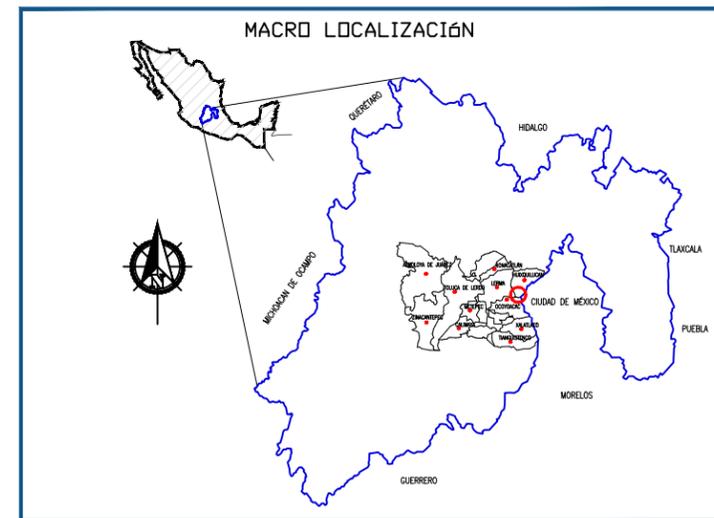
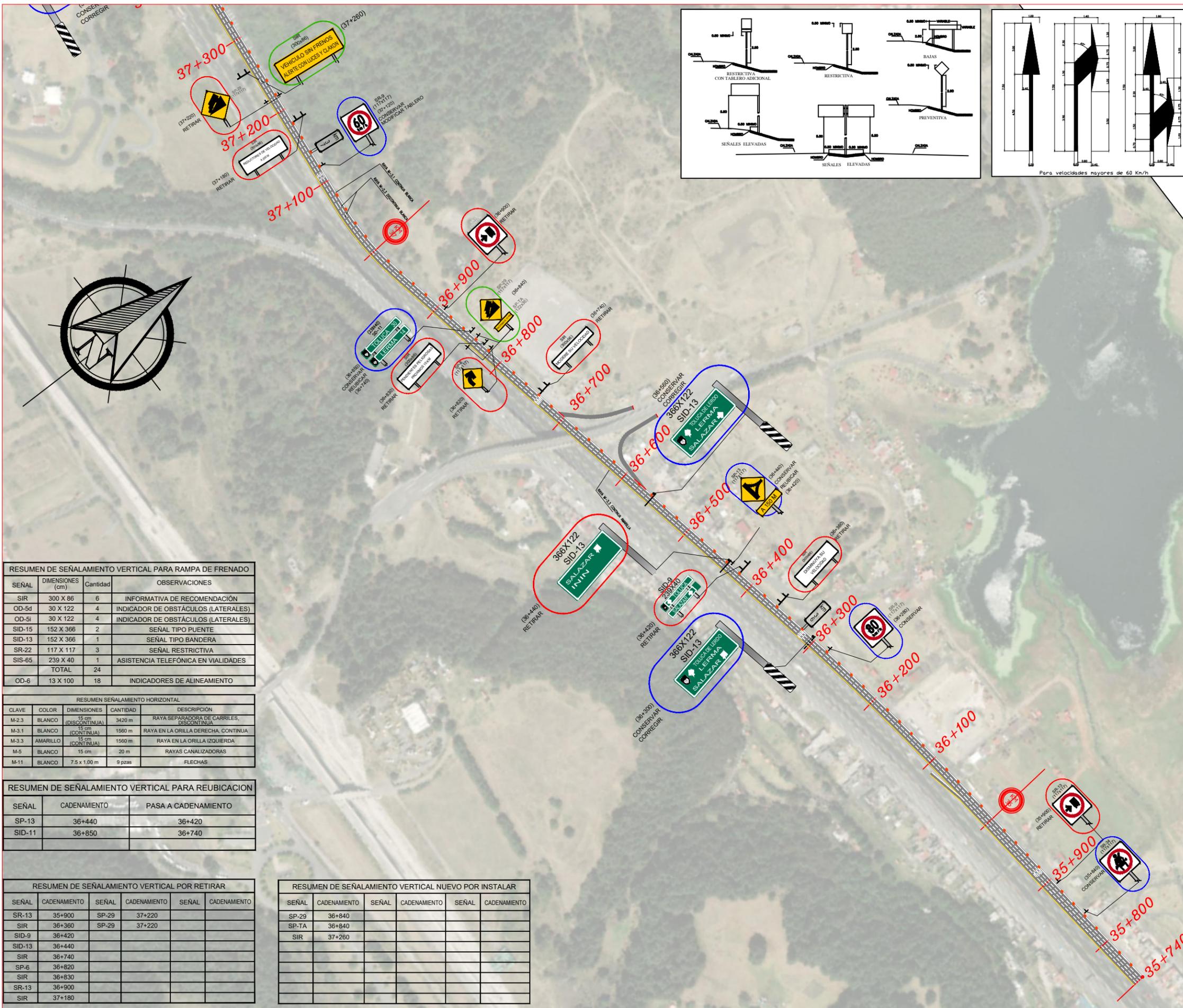


TABLA 3- Coordenadas que definen el área cronométrica para el color rojo que se utilicen en las marcas para señalamiento horizontal y coeficientes mínimos de reflexión

Color	Punto N°	Coordenadas		Coeficiente mínimo de reflexión (mcd/10) / m²					
		x	y	Pintura base agua Inicial	A 180 días de proyecto	Vida de días	Pintura termoplástica Inicial	A 180 días de proyecto	Vida de días
Rojo	1	0.613	0.297	35	24	11	51	39	23
	2	0.708	0.292						
	3	0.535	0.354						
	4	0.588	0.352						

(1) De acuerdo con el sistema estandarizado de la Comisión Internacional de Iluminación (Comisión Internationale de l'Eclairage, CIE) para determinar el color (1930), medido con una Fuente luminosa estándar tipo "C".

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		FECHA SEP 2024
CARRETERA : MÉXICO - TOLUCA		PLANO 1/1
PLANO: REUBICACIÓN DE RAMPA DE EMERGENCIA (PROPUESTA 2)		
SUBTRAMO: KM 39+100		
T R A M O		E S T A D O
T. DER HUIXQUILUCAN - STGO TINAGUISTENCO		ESTADO DE MÉXICO
REVISÓ	ELABORÓ	
M. EN C. SERGIO GERMÁN HERRERA DEL ÁNGEL	CHRISTIAN ALAN CASTRO ARELLANO	



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)	Cantidad	OBSERVACIONES
SIR	300 X 86	6	INFORMATIVA DE RECOMENDACIÓN
OD-5d	30 X 122	4	INDICADOR DE OBSTÁCULOS (LATERALES)
OD-5i	30 X 122	4	INDICADOR DE OBSTÁCULOS (LATERALES)
SID-15	152 X 366	2	SEÑAL TIPO PUENTE
SID-13	152 X 366	1	SEÑAL TIPO BANDERA
SR-22	117 X 117	3	SEÑAL RESTRICTIVA
SIS-65	239 X 40	1	ASISTENCIA TELEFÓNICA EN VIALIDADES
TOTAL		24	
OD-6	13 X 100	18	INDICADORES DE ALINEAMIENTO

CLAVE	COLOR	DIMENSIONES	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
M-2.3	BLANCO	15 cm (DISCONTINUA)	3420 m	RAYA SEPARADORA DE CARRILES, DISCONTINUA
M-3.1	BLANCO	15 cm (CONTINUA)	1560 m	RAYA EN LA ORILLA DERECHA, CONTINUA
M-3.3	AMARILLO	15 cm (CONTINUA)	1560 m	RAYA EN LA ORILLA IZQUIERDA
M-5	BLANCO	15 cm	20 m	RAYAS CANALIZADORAS
M-11	BLANCO	7.5 x 1.00 m	9 pzas	FLECHAS

SEÑAL	CADENAMIENTO	PASA A CADENAMIENTO
SP-13	36+440	36+420
SID-11	36+850	36+740

SEÑAL	CADENAMIENTO	SEÑAL	CADENAMIENTO	SEÑAL	CADENAMIENTO
SR-13	35+900	SP-29	37+220		
SIR	36+360	SP-29	37+220		
SID-9	36+420				
SID-13	36+440				
SIR	36+740				
SP-6	36+820				
SIR	36+830				
SR-13	36+900				
SIR	37+180				

SEÑAL	CADENAMIENTO	SEÑAL	CADENAMIENTO	SEÑAL	CADENAMIENTO
SP-29	36+840				
SP-TA	36+840				
SIR	37+260				

SIMBOLOGÍA Y DATOS APLICABLES A SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS

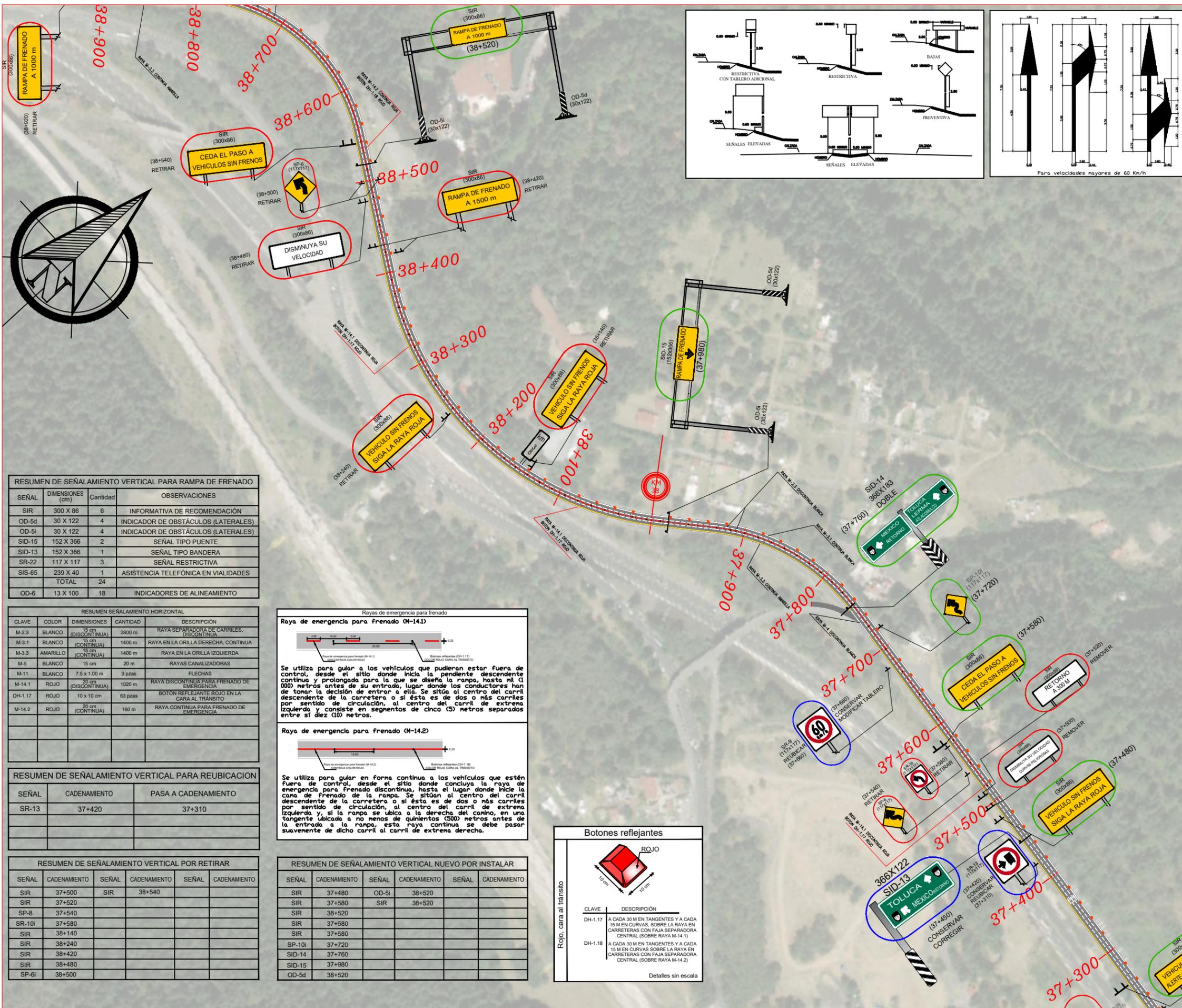
+ Señal con poste propio — Señal tipo bandera
 ⊥ Señal con poste propio — Señal tipo bandera doble
 ⊥⊥ Señal con dos postes — Señal tipo puente

Señalamiento vertical proyecto: Clave de la Señal Dimensiones (cm)

— Raya separadora de sentidos de carriles, discontinua (M-2.3)
 — Raya en la orilla derecha, continua (M-3.1)
 — Raya en la orilla izquierda, continua (M-3.3)
 — Raya discontinua para frenado de emergencia (M-14.1)
 — Raya continua para frenado de emergencia (M-14.2)
 ■ Botones reflejantes (DH-1.17 / DH 1.18) rojo
 ● Indicador de alineamiento (OD-6)

● Señalamiento Vertical Existente a conservar.
 ○ Señalamiento Vertical Existente a retirar.
 ○ Señalamiento Vertical de Proyecto (Nuevo)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		FECHA SEP 2024
CARRETERA : MÉXICO - TOLUCA		PLANO 1/4
PLANO: MEJORAMIENTO DE SEÑALAMIENTO PARA RAMPA DE EMERGENCIA (PROPUESTA 3)		
SUBTRAMO: KM 39+800		
T R A M O		E S T A D O
T. DER HUIXQUILUCAN - STGO TINAGUISTENCO		ESTADO DE MÉXICO
REVISÓ	ELABORÓ	
M. EN C. SERGIO GERMAN HERRERA DEL ÁNGEL	CHRISTIAN ALAN CASTRO ARELLANO	

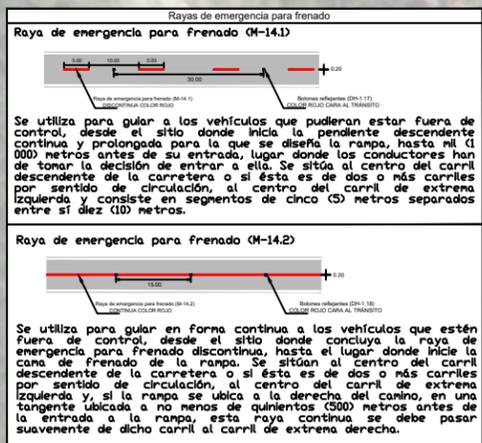


SEÑAL	DIMENSIONES (cm)	Cantidad	OBSERVACIONES
SIR	300 X 86	6	INFORMATIVA DE RECOMENDACIÓN
OD-5d	30 X 122	4	INDICADOR DE OBSTÁCULOS (LATERALES)
OD-5i	30 X 122	4	INDICADOR DE OBSTÁCULOS (LATERALES)
SID-15	152 X 366	2	SEÑAL TIPO PUENTE
SID-13	152 X 366	1	SEÑAL TIPO BANDERA
SR-22	117 X 117	3	SEÑAL RESTRICTIVA
SIS-65	239 X 40	1	ASISTENCIA TELEFÓNICA EN VIALIDADES
TOTAL		24	
OD-6	13 X 100	18	INDICADORES DE ALINEAMIENTO

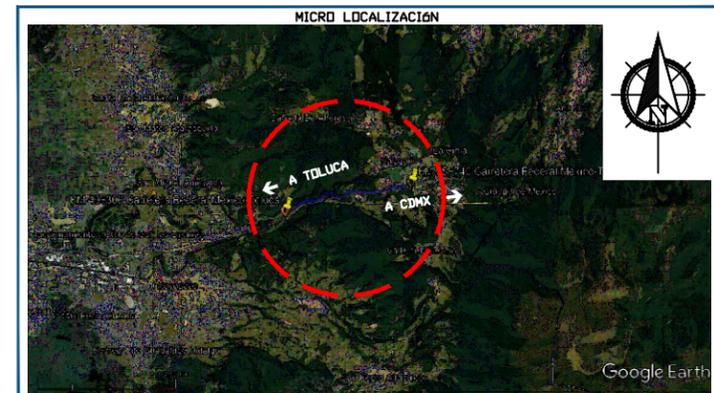
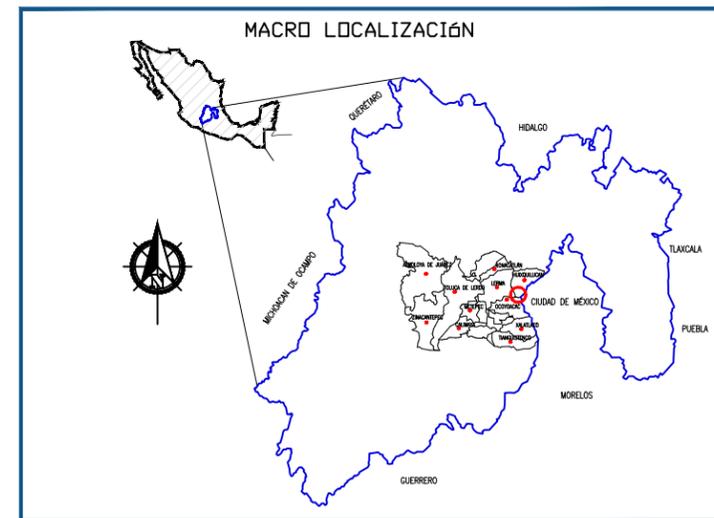
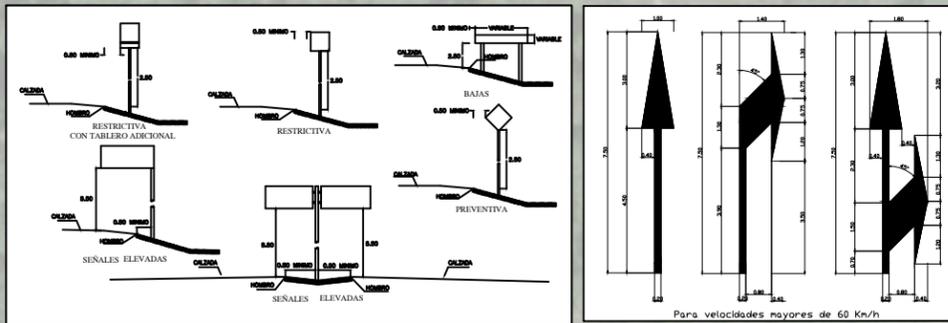
CLAVE	COLOR	DIMENSIONES	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
M-2.3	BLANCO	15 cm (DISCONTINUA)	2800 m	RAYA SEPARADORA DE CARRILES, DISCONTINUA
M-3.1	BLANCO	15 cm (CONTINUA)	1400 m	RAYA EN LA ORILLA DERECHA, CONTINUA
M-3.3	AMARILLO	15 cm (CONTINUA)	1400 m	RAYA EN LA ORILLA IZQUIERDA
M-5	BLANCO	15 cm	20 m	RAYAS CANALIZADORAS
M-11	BLANCO	7.5 x 1.00 m	3 pzas	FLECHAS
M-14.1	ROJO	20 cm (DISCONTINUA)	1020 m	RAYA DISCONTINUA PARA FRENADO DE EMERGENCIA
DH-1.17	ROJO	10 x 10 cm	63 pzas	BOTÓN REFLEJANTE ROJO EN LA CARA AL TRANSITO
M-14.2	ROJO	20 cm (CONTINUA)	160 m	RAYA CONTINUA PARA FRENADO DE EMERGENCIA

SEÑAL	CADENAMIENTO	PASA A CADENAMIENTO
SR-13	37+420	37+310

SEÑAL	CADENAMIENTO	SEÑAL	CADENAMIENTO	SEÑAL	CADENAMIENTO
SIR	37+500	SIR	38+540		
SIR	37+520				
SP-8	37+540				
SR-10i	37+580				
SIR	38+140				
SIR	38+240				
SIR	38+420				
SIR	38+480				
SP-6i	38+500				



SEÑAL	CADENAMIENTO	SEÑAL	CADENAMIENTO	SEÑAL	CADENAMIENTO
SIR	37+480	OD-5i	38+520		
SIR	37+580	SIR	38+520		
SIR	38+520				
SIR	37+580				
SIR	37+580				
SP-10i	37+720				
SID-14	37+760				
SID-15	37+980				
OD-5d	38+520				



SIMBOLOGÍA Y DATOS APLICABLES A SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS

<ul style="list-style-type: none"> Señal con poste propio Señal con poste propio Señal con dos postes 	<ul style="list-style-type: none"> Señal tipo bandera Señal tipo bandera doble Señal tipo puente
--	---

Señalamiento vertical proyecto: Clave de la Señal Dimensiones (cm)

<ul style="list-style-type: none"> Rayas discontinuas para frenado de emergencia (M-14.1) Raya continua para frenado de emergencia (M-14.2) Botones reflejantes (DH-1.17 / DH 1.18) rojo Indicador de alineamiento (OD-6) 	<ul style="list-style-type: none"> Señalamiento Vertical Existente a conservar. Señalamiento Vertical Existente a retirar. Señalamiento Vertical de Proyecto (Nuevo)
---	---

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERIA		FECHA SEP 2024
CARRETERA : MÉXICO - TOLUCA		PLANO 2/4
PLANO: MEJORAMIENTO DE SEÑALAMIENTO PARA RAMPA DE EMERGENCIA (PROPUESTA 3)		
SUBTRAMO: KM 39+800		
TRAMO T. DER HUIXQUILUCAN - STGO TINAGUISTENCO		ESTADO ESTADO DE MÉXICO
REVISÓ M. EN C. SERGIO GERMAN HERRERA DEL ÁNGEL	ELABORÓ CHRISTIAN ALAN CASTRO ARELLANO	

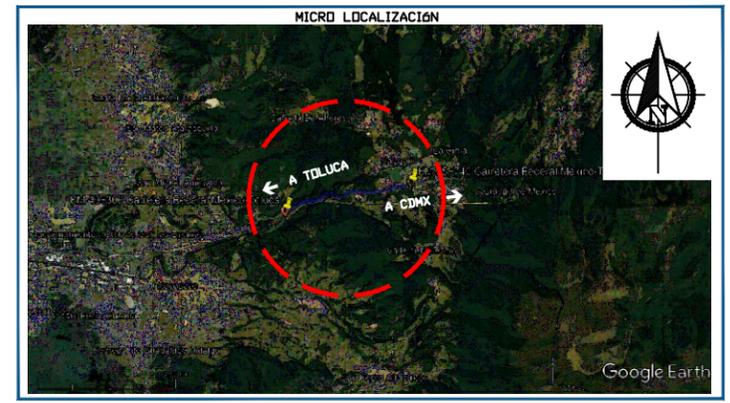
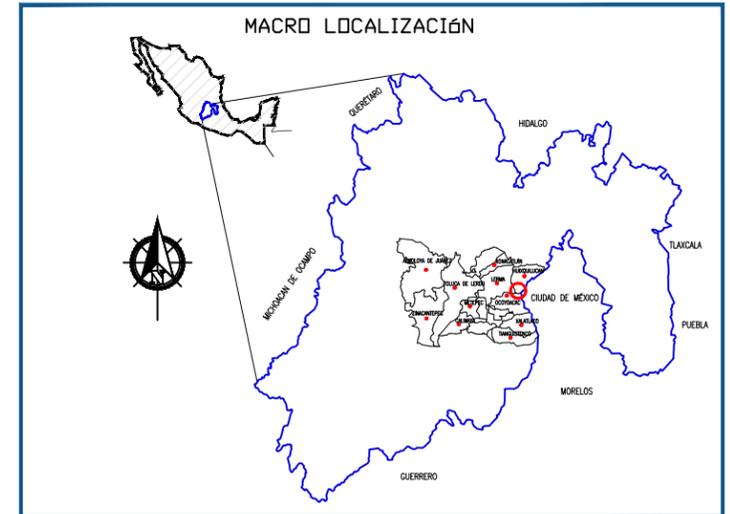
RESUMEN SEÑALAMIENTO HORIZONTAL					
CLAVE	COLOR	DIMENSIONES	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	
M-2.3	BLANCO	15 cm (DISCONTINUA)	1600 m	RAYA SEPARADORA DE CARRILES, DISCONTINUA	
M-3.1	BLANCO	15 cm (CONTINUA)	800 m	RAYA EN LA ORILLA DERECHA, CONTINUA	
M-3.3	AMARILLO	15 cm (CONTINUA)	800 m	RAYA EN LA ORILLA IZQUIERDA	
M-11	BLANCO	7.5 x 1.00 m	2 pzas	FLECHAS	
M-14.2	ROJO	20 cm (CONTINUA)	800 m	RAYA CONTINUA PARA FRENADO DE EMERGENCIA	
DH-1.18	ROJO	10 x 10 cm	34 pzas	BOTON REFLEJANTE ROJO EN LA CARA AL TRANSITO	

RESUMEN DE SEÑALAMIENTO VERTICAL PARA RAMPA DE FRENADO					
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)	Cantidad	OBSERVACIONES		
SIR	300 X 86	6	INFORMATIVA DE RECOMENDACIÓN		
OD-5d	30 X 122	4	INDICADOR DE OBSTACULOS (LATERALES)		
OD-5i	30 X 122	4	INDICADOR DE OBSTACULOS (LATERALES)		
SID-15	152 X 366	2	SEÑAL TIPO PUENTE		
SID-13	152 X 366	1	SEÑAL TIPO BANDERA		
SR-22	117 X 117	3	SEÑAL RESTRICTIVA		
SIS-65	239 X 40	1	ASISTENCIA TELEFÓNICA EN VIALIDADES		
TOTAL		24			
OD-6	13 X 100	18	INDICADORES DE ALINEAMIENTO		

RESUMEN DE SEÑALAMIENTO VERTICAL PARA REUBICACION					
SEÑAL	CADENAMIENTO	PASA A CADENAMIENTO			
SR-9	39+320	39+140			

RESUMEN DE SEÑALAMIENTO VERTICAL POR RETIRAR					
SEÑAL	CADENAMIENTO	SEÑAL	CADENAMIENTO	SEÑAL	CADENAMIENTO
SP-6	38+880				
SIR	38+920				
SIR	39+260				
SP-6i	39+380				
SIR	39+460				
SIR	39+500				

RESUMEN DE SEÑALAMIENTO VERTICAL NUEVO POR INSTALAR					
SEÑAL	CADENAMIENTO	SEÑAL	CADENAMIENTO	SEÑAL	CADENAMIENTO

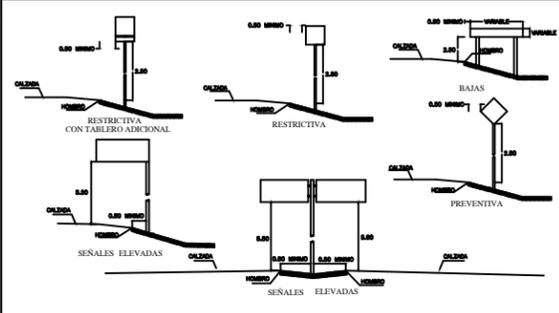
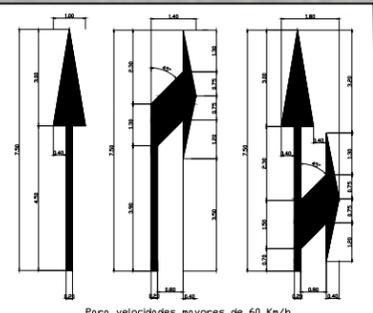
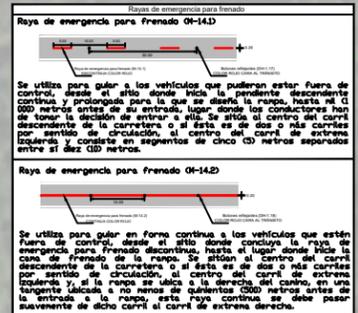
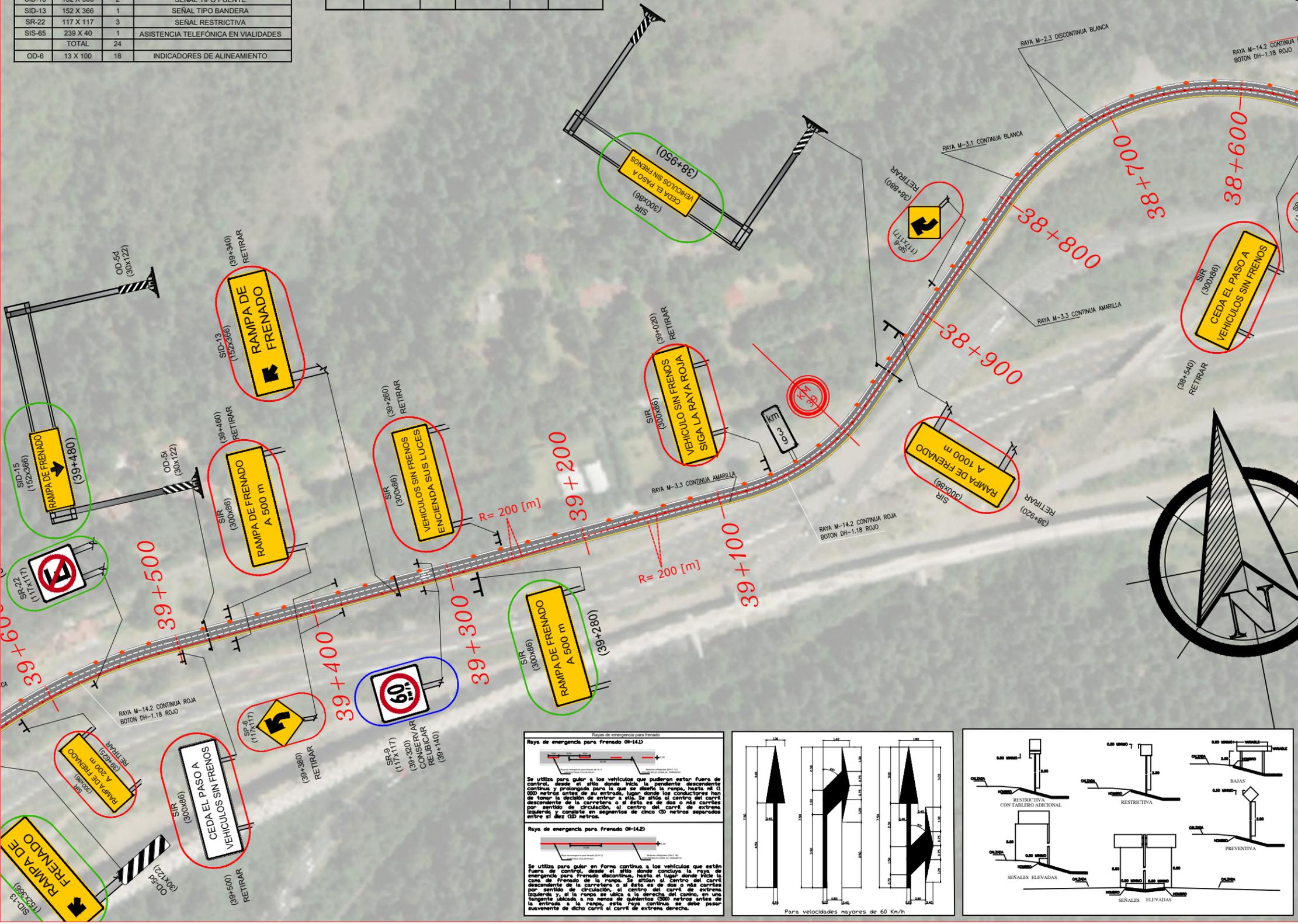


SIMBOLOGÍA Y DATOS APLICABLES A SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS

- Señal con poste propio
- Señal con poste propio
- Señal con dos postes
- Señal tipo bandera
- Señal tipo bandera doble
- Señal tipo puente

Señalamiento vertical proyecto: Clave de la Señal Dimensiones (cm)

- Raya separadora de sentidos de carriles, discontinua (M-2.3)
- Raya en la orilla derecha, continua (M-3.1)
- Raya en la orilla izquierda, continua (M-3.3)
- Raya discontinua para frenado de emergencia (M-14.1)
- Raya continua para frenado de emergencia (M-14.2)
- Botones reflejantes (DH-1.17 / DH 1.18) rojo
- Indicador de alineamiento (OD-6)
- Señalamiento Vertical Existente a conservar.
- Señalamiento Vertical Existente a retirar.
- Señalamiento Vertical de Proyecto (Nuevo)



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		FECHA SEP 2024
CARRETERA : MÉXICO - TOLUCA		PLANO 3/4
PLANO: MEJORAMIENTO DE SEÑALAMIENTO PARA RAMPA DE EMERGENCIA (PROPUESTA 3)		
SUBTRAMO: KM 39+800		
TRAMO T. DER HUIXQUILUCAN - STGO TINAGUISTENCO		ESTADO ESTADO DE MÉXICO
REVISÓ M. EN C. SERGIO GERMAN HERRERA DEL ÁNGEL	ELABORÓ CHRISTIAN ALAN CASTRO ARELLANO	

