



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

# **Clasificación de las carreteras según su riesgo de siniestralidad vial considerando la interacción de sus elementos físicos, geométricos y operacionales**

---

María Cadengo Ramírez  
Wendy Alejandra Casanova Zavala  
Alberto Mendoza Díaz

Publicación Técnica No. 607  
**Sanfandila, Qro.**  
**2020**

ISSN 0188-7297



Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte del Instituto Mexicano del Transporte, por las M. en I. María Cadengo Ramírez y Wendy Alejandra Casanova Zavala, así como por el Dr. Alberto Mendoza Díaz.

Esta investigación es el producto final del proyecto de investigación interna SI 03/19 “Clasificación de las carreteras según su riesgo de siniestralidad vial considerando la interacción de sus elementos físicos, geométricos y operacionales”.

# Contenido

---

	Página
Índice de figuras .....	i
Índice de tablas .....	iii
Sinopsis.....	vi
Abstract .....	vii
Resumen ejecutivo.....	viii
Introducción.....	1
1. Factores relacionados con el riesgo en la infraestructura .....	3
1.1 Características geométricas de la vía .....	3
1.1.1 Alineamiento horizontal .....	4
1.1.2 Alineamiento vertical.....	4
1.1.3 Sección transversal .....	5
1.1.4 Distancias de visibilidad.....	6
1.1.5 Intersecciones.....	7
1.1.6 Puentes y alcantarillas.....	7
1.2 Elementos físicos .....	8
1.2.1 Señalamiento.....	8
1.2.2 Iluminación .....	9
1.2.3 Drenaje .....	9
1.2.4 Elementos de seguridad vial.....	10
1.2.5 Infraestructura para usuarios vulnerables.....	12
1.3 Características operacionales .....	13
1.3.1 Tránsito.....	13
1.3.2 Tipo de usuarios .....	13
1.3.3 Velocidad.....	14

---

1.3.4	Pavimento.....	15
1.3.5	Zona de obras.....	15
1.3.6	Control de accesos.....	16
1.3.7	Zonas laterales.....	16
1.3.8	Entorno.....	17
2.	Herramienta de análisis.....	19
2.1	Antecedentes.....	19
2.2	Descripción del iRAP.....	21
3.	Casos de estudio.....	29
3.1	Clasificación general de carreteras en México.....	29
3.2	Elección de casos de estudio.....	31
3.2.1	Carretera México-Toluca.....	32
3.2.2	Libramiento Noreste Querétaro.....	37
3.2.3	Libramiento Oriente de San Luis Potosí.....	45
3.2.4	Libramiento Norte de la Ciudad de México.....	55
3.2.5	Autopista Uruapan-Lázaro Cárdenas.....	61
3.2.6	Carretera Irapuato-Zapotlanejo.....	66
3.2.7	Libramiento Norte de San Luis Potosí.....	74
3.2.8	Carretera Querétaro-Salamanca.....	78
3.2.9	Carretera San Miguel de Allende-Ojuelos de Jalisco.....	82
3.2.10	Carretera León-Aguascalientes.....	86
3.2.11	Carretera Guanajuato-Silao.....	90
4.	Hallazgos relevantes.....	95
4.1	Severidad lateral (objeto y distancia).....	95
4.2	Impacto de la velocidad.....	98
4.3	Otras variables importantes.....	99
	Conclusiones.....	101
	Bibliografía.....	103

---



## Índice de figuras

---

Figura 2.1. Proceso iRAP para la Clasificación por estrellas y planes de inversión para vías más seguras .....	28
Figura 2.2. Simulador para la clasificación por estrellas iRAP .....	28
Figura 3.1. Vista satelital km 36 a 41 de la carretera federal libre México-Toluca.	33
Figura 3.2. Imagen de sección transversal del cuerpo A (febrero 2019) .....	33
Figura 3.3. Imagen de sección transversal del cuerpo B (mayo 2018).....	33
Figura 3.4. Calificación y clasificación por estrellas cuerpo A .....	35
Figura 3.5. Calificación y clasificación por estrellas cuerpo B .....	37
Figura 3.6. Vista satelital km 0+000 al 37+500 del Libramiento Noreste Querétaro .....	38
Figura 3.7. Imagen de sección transversal del cuerpo A, tramo 1 (junio 2019).....	39
Figura 3.8. Imagen de sección transversal del cuerpo B, tramo 1 (mayo 2019)....	39
Figura 3.9. Calificación y clasificación por estrellas tramo 1 .....	41
Figura 3.10. Imagen de sección transversal, sentido 1, tramo 2 (junio 2019) .....	42
Figura 3.11. Imagen de sección transversal, sentido 2, tramo 2 (mayo 2019) .....	42
Figura 3.12. Calificación y clasificación por estrellas, tramo 2 .....	44
Figura 3.13. Vista satelital km 0+000 al 33+760 del Libramiento Oriente de San Luis Potosí .....	46
Figura 3.14. Imagen de sección transversal del cuerpo A, tramo 1 (mayo 2019)..	46
Figura 3.15. Imagen de sección transversal del cuerpo B, tramo 1 (mayo 2019)..	47
Figura 3.16. Calificación y clasificación por estrellas, tramo 1 .....	48
Figura 3.17. Sección transversal del sentido 1, tramo 2 (mayo 2019).....	49
Figura 3.18. Sección transversal del sentido 2, tramo 2 (mayo 2019).....	49
Figura 3.19. Calificación y clasificación por estrellas, tramo 2 .....	51
Figura 3.20. Imagen de sección transversal del cuerpo A, tramo 3 (mayo 2019)..	52
Figura 3.21. Imagen de sección transversal del cuerpo B, tramo 3 (mayo 2019)..	52
Figura 3.22. Calificación y clasificación por estrellas, tramo 3 .....	54
Figura 3.23. Vista satelital km 54 al 79 del Libramiento Norte de la Ciudad de México .....	55
Figura 3.24. Imagen de sección transversal, sentido 1 (junio 2019) .....	56
Figura 3.25. Imagen de sección transversal, sentido 1 (junio 2019) .....	56
Figura 3.26. Imagen de sección transversal, sentido 2 (agosto 2019) .....	57
Figura 3.27. Imagen de sección transversal, sentido 2 (agosto 2019) .....	57
Figura 3.28. Calificación y clasificación por estrellas, escenario 1 .....	59
Figura 3.29. Calificación y clasificación por estrellas, escenario 2 .....	59
Figura 3.30. Calificación y clasificación por estrellas, escenario 3 .....	60
Figura 3.31. Vista satelital km 132+200 al 154+000 de la autopista Uruapan-Lázaro Cárdenas.....	61
Figura 3.32. Imagen sección transversal, vista desde sentido 1 (enero 2019).....	62
Figura 3.33. Imagen sección transversal, vista desde sentido 1 (enero 2019).....	62

Figura 3.34. Imagen sección transversal, vista desde sentido 1 (enero 2019).....	63
Figura 3.35. Imagen sección transversal, vista desde sentido 1 (enero 2019).....	63
Figura 3.36. Imagen sección transversal, vista desde sentido 2 (enero 2019).....	63
Figura 3.37. Calificación y clasificación por estrellas .....	65
Figura 3.38. Vista satelital km 27+000 a 50+000 de la carretera federal Irapuato-Zapotlanejo.....	67
Figura 3.39. Sección transversal 1, sentido 1 (junio 2018).....	67
Figura 3.40. Sección transversal 1, sentido 2 (junio 2018).....	68
Figura 3.41. Sección transversal 2, sentido 1 (junio 2018).....	68
Figura 3.42. Sección transversal 2, sentido 2 (junio 2018).....	68
Figura 3.43. Sección transversal 3, sentido 1 (mayo 2019) .....	69
Figura 3.44. Calificación y clasificación por estrellas km 27+000 a 33+400.....	71
Figura 3.45. Calificación y clasificación por estrellas, km 33+400 a km 47+000 ...	73
Figura 3.46. Calificación y clasificación por estrellas, km 47+000 a km 50+000 ...	73
Figura 3.47. Vista satelital km 0+000 al 31+000 del Libramiento Norte de San Luis Potosí .....	75
Figura 3.48. Imagen sección transversal, vista desde el sentido 1 (mayo 2019) ..	75
Figura 3.49. Imagen sección transversal, vista desde el sentido 2 (mayo 2019) ..	76
Figura 3.50. Calificación y clasificación por estrellas, Libramiento Norte San Luis Potosí .....	77
Figura 3.51. Vista satelital km 13+500 a 26+000 de la carretera federal MEX 045 Querétaro-Salamanca .....	79
Figura 3.52. Imagen de sección transversal, sentido 1 (noviembre 2019) .....	79
Figura 3.53. Imagen de sección transversal, sentido 2 (noviembre 2019) .....	79
Figura 3.54. Calificación y clasificación por estrellas km 13+500 a 26+000.....	81
Figura 3.55. Vista satelital km 144+000 al 173+000 de la carretera San Miguel de Allende - Ojuelos.....	83
Figura 3.56. Imagen sección transversal, vista hacia el sentido 2 (noviembre 2016) .....	83
Figura 3.57. Calificación y clasificación por estrellas, km 144 a 173 de la carretera San Miguel de Allende-Ojuelos de Jalisco .....	85
Figura 3.58. Vista satelital km 51+000 a 83+000 de la carretera federal MEX 045 León-Aguascalientes.....	87
Figura 3.59. Imagen de sección transversal, sentido 2 (octubre 2019) .....	87
Figura 3.60. Calificación y clasificación por estrellas, km 51 a 83 de la carretera León-Aguascalientes.....	89
Figura 3.61. Vista satelital km 1+750 a 9+000 de la carretera federal MEX 110 Guanajuato-Silao.....	90
Figura 3.62. Imagen de sección transversal, vista sentido 1 (mayo 2019).....	91
Figura 3.63. Imagen de sección transversal, vista sentido 1 (mayo 2019).....	91
Figura 3.64. Calificación y clasificación por estrellas, km 1+750 a 9+000 de la carretera Guanajuato-Silao .....	93

## Índice de tablas

---

Tabla 2.1 Indicadores para las metas mundiales de desempeño de carácter voluntario en la esfera de la seguridad vial.....	20
Tabla 2.2. Rangos del “puntaje” para la asignación de la clasificación por estrellas iRAP.....	22
Tabla 2.3. Atributos de información general.....	24
Tabla 2.4. Datos complementarios.....	24
Tabla 2.5. Atributos respecto al costado de la vía.....	24
Tabla 2.6. Atributos respecto a las características de la vía.....	25
Tabla 2.7. Atributos respecto a presencia de intersecciones.....	26
Tabla 2.8. Atributos respecto al flujo en la vía.....	26
Tabla 2.9. Atributos respecto a la velocidad.....	26
Tabla 2.10. Atributos respecto a la infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo.....	27
Tabla 3.1. Características de carreteras de acuerdo con su clasificación normativa.....	31
Tabla 3.2. Casos de estudio.....	32
Tabla 3.3. Selección de atributos en relación al “costado de la vía”, cuerpo A.....	34
Tabla 3.4. Selección de atributos sobre “características de la vía”, cuerpo A.....	34
Tabla 3.5. Selección de atributos sobre las “intersecciones”, cuerpo A.....	34
Tabla 3.6. Selección de atributos en relación al “flujo”, cuerpo A.....	34
Tabla 3.7. Selección de atributos en relación a las “velocidades”, cuerpo A.....	34
Tabla 3.8. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo”, cuerpo A.....	35
Tabla 3.9. Selección de atributos en relación al “costado de la vía”, cuerpo B.....	35
Tabla 3.10. Selección de atributos sobre “características de la vía”, cuerpo B.....	36
Tabla 3.11. Selección de atributos sobre las “intersecciones”, cuerpo B.....	36
Tabla 3.12. Selección de atributos en relación al “flujo”, cuerpo B.....	36
Tabla 3.13. Selección de atributos en relación a las “velocidades”, cuerpo B.....	36
Tabla 3.14. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo”, cuerpo B.....	36
Tabla 3.15. Selección de atributos en relación al “costado de la vía”, tramo 1.....	40
Tabla 3.16. Selección de atributos sobre “características de la vía”, tramo 1.....	40
Tabla 3.17. Selección de atributos sobre las “intersecciones”, tramo 1.....	40
Tabla 3.18. Selección de atributos en relación al “flujo”, tramo 1.....	40
Tabla 3.19. Selección de atributos en relación a las “velocidades”, tramo 1.....	40
Tabla 3.20. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo”, tramo 1.....	41
Tabla 3.21. Selección de atributos en relación al “costado de la vía”, tramo 2.....	43
Tabla 3.22. Selección de atributos sobre “características de la vía”, tramo 2.....	43
Tabla 3.23. Selección de atributos sobre las “intersecciones”, tramo 2.....	43

Tabla 3.24. Selección de atributos en relación al “flujo”, tramo 2 .....	43
Tabla 3.25. Selección de atributos en relación a las “velocidades”, tramo 2 .....	43
Tabla 3.26. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo”, tramo 2 .....	44
Tabla 3.27. Selección de atributos en relación al “costado de la vía”, tramo 1 .....	47
Tabla 3.28. Selección de atributos sobre “características de la vía”, tramo 1 .....	47
Tabla 3.29. Selección de atributos sobre las “intersecciones”, tramo 1 .....	48
Tabla 3.30. Selección de atributos en relación al “flujo”, tramo 1 .....	48
Tabla 3.31. Selección de atributos en relación a las “velocidades”, tramo 1 .....	48
Tabla 3.32. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo”, tramo 1 .....	48
Tabla 3.33. Selección de atributos en relación al “costado de la vía”, tramo 2 .....	50
Tabla 3.34. Selección de atributos sobre las “intersecciones”, tramo 2 .....	50
Tabla 3.35. Selección de atributos sobre “características de la vía”, tramo 2 .....	50
Tabla 3.36. Selección de atributos en relación al “flujo”, tramo 2 .....	50
Tabla 3.37. Selección de atributos en relación a las “velocidades”, tramo 2 .....	50
Tabla 3.38. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo”, tramo 2 .....	51
Tabla 3.39. Selección de atributos en relación al “costado de la vía”, tramo 3 .....	52
Tabla 3.40. Selección de atributos sobre “características de la vía”, tramo 3 .....	53
Tabla 3.41. Selección de atributos sobre las “intersecciones”, tramo 3 .....	53
Tabla 3.42. Selección de atributos en relación al “flujo”, tramo 3 .....	53
Tabla 3.43. Selección de atributos en relación a las “velocidades”, tramo 3 .....	53
Tabla 3.44. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo”, tramo 3 .....	53
Tabla 3.45. Selección de atributos en relación al “costado de la vía” .....	58
Tabla 3.46. Selección de atributos sobre las “intersecciones” .....	58
Tabla 3.47. Selección de atributos sobre “características de la vía” .....	58
Tabla 3.48. Selección de atributos en relación al “flujo” .....	58
Tabla 3.49. Selección de atributos en relación a las “velocidades” .....	58
Tabla 3.50. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo” .....	59
Tabla 3.51. Selección de atributos en relación al “costado de la vía” .....	64
Tabla 3.52. Selección de atributos sobre las “intersecciones” .....	64
Tabla 3.53. Selección de atributos sobre “características de la vía”, tramo 1 .....	64
Tabla 3.54. Selección de atributos en relación al “flujo” .....	64
Tabla 3.55. Selección de atributos en relación a las “velocidades” .....	64
Tabla 3.56. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo” .....	65
Tabla 3.57. Selección de atributos en relación al “costado de la vía” .....	69
Tabla 3.58. Selección de atributos sobre “características de la vía” .....	70
Tabla 3.59. Selección de atributos sobre las “intersecciones” .....	70
Tabla 3.60. Selección de atributos en relación al “flujo” .....	70
Tabla 3.61. Selección de atributos en relación a las “velocidades” .....	70
Tabla 3.62. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo” .....	70
Tabla 3.63. Selección de atributos en relación al “costado de la vía” .....	71

Tabla 3.64. Selección de atributos sobre “características de la vía” .....	72
Tabla 3.65. Selección de atributos sobre las “intersecciones” .....	72
Tabla 3.66. Selección de atributos en relación al “flujo” .....	72
Tabla 3.67. Selección de atributos en relación a las “velocidades” .....	72
Tabla 3.68. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo” .....	72
Tabla 3.69. Selección de atributos en relación al “costado de la vía” .....	76
Tabla 3.70. Selección de atributos sobre “características de la vía” .....	76
Tabla 3.71. Selección de atributos sobre las “intersecciones” .....	77
Tabla 3.72. Selección de atributos en relación al “flujo” .....	77
Tabla 3.73. Selección de atributos en relación a las “velocidades” .....	77
Tabla 3.74. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo” .....	77
Tabla 3.75. Selección de atributos en relación al “costado de la vía” .....	80
Tabla 3.76. Selección de atributos sobre “características de la vía” .....	80
Tabla 3.77. Selección de atributos sobre las “intersecciones” .....	80
Tabla 3.78. Selección de atributos en relación al “flujo” .....	81
Tabla 3.79. Selección de atributos en relación a las “velocidades” .....	81
Tabla 3.80. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo” .....	81
Tabla 3.81. Selección de atributos en relación al “costado de la vía” .....	84
Tabla 3.82. Selección de atributos sobre “características de la vía” .....	84
Tabla 3.83. Selección de atributos sobre las “intersecciones” .....	84
Tabla 3.84. Selección de atributos en relación al “flujo” .....	84
Tabla 3.85. Selección de atributos en relación a las “velocidades” .....	84
Tabla 3.86. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo” .....	85
Tabla 3.87. Selección de atributos en relación al “costado de la vía” .....	88
Tabla 3.88. Selección de atributos sobre “características de la vía” .....	88
Tabla 3.89. Selección de atributos sobre las “intersecciones” .....	88
Tabla 3.90. Selección de atributos en relación al “flujo” .....	88
Tabla 3.91. Selección de atributos en relación a las “velocidades” .....	88
Tabla 3.92. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo” .....	89
Tabla 3.93. Selección de atributos en relación al “costado de la vía” .....	92
Tabla 3.94. Selección de atributos sobre “características de la vía” .....	92
Tabla 3.95. Selección de atributos sobre las “intersecciones” .....	92
Tabla 3.96. Selección de atributos en relación al “flujo” .....	92
Tabla 3.97. Selección de atributos en relación a las “velocidades” .....	92
Tabla 3.98. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo” .....	93
Tabla 4.1. Atributos respecto a la severidad lateral (costado de la vía) .....	96
Tabla 4.2. Riesgo atribuible a los “objetos” laterales .....	96
Tabla 4.3. Peligros laterales a la vía .....	97

## **Sinopsis**

---

En el presente estudio se definen los principales factores que influyen en la seguridad de la infraestructura vial carretera en México. Posteriormente, se selecciona una metodología probada y avalada por organismos internacionales para la clasificación de carreteras de acuerdo con su seguridad, eligiéndola como herramienta de análisis para su aplicación en 11 casos de estudio representativos de diferentes tipos de carreteras de acuerdo con su "clasificación normativa". Finalmente, se describen los hallazgos más relevantes derivados del análisis de dichos casos de estudio y se formulan conclusiones generales respecto a lo encontrado.

# Abstract

---

This paper defines the main factors that influence the safety of the road infrastructure in Mexico. Subsequently, a methodology tested and supported by international organizations is selected for the classification of roads according to their safety, choosing it as an analysis tool for its application in 11 representative case studies of different types of roads according to their “normative classification”. Finally, the most relevant findings derived from the analysis of these case studies are described and general conclusions are drawn about what was found.

## Resumen ejecutivo

---

La problemática derivada de la siniestralidad vial se ha intensificado en las últimas décadas a nivel internacional a consecuencia de la creciente demanda de movilidad y aumento en el parque vehicular. Para controlar esta problemática se han desarrollado diversas herramientas, normas, programas y políticas.

Entre los múltiples esfuerzos internacionales para controlar las indeseables consecuencias de la siniestralidad vial, surgió la idea de clasificar tanto los automóviles como las carreteras en función de su seguridad, con la finalidad de mantener estándares que permitan una movilidad segura. Esta categorización se planteó en términos de estrellas (de 1 a 5), donde 5 estrellas equivalen a infraestructura o vehículos con las mejores condiciones de seguridad y 1 estrella a las peores. Es así como surgen los programas de evaluación de carreteras y de autos nuevos (RAP y NCAP respectivamente por sus siglas en inglés).

Respecto a los programas RAP, el iRAP (Programa Internacional de Evaluación de Carreteras) es la versión general. Este programa ha desarrollado cuatro protocolos avalados a nivel internacional para evaluar y mejorar la seguridad vial: mapas de riesgos, clasificación por estrellas, planes de inversión para vías más seguras y monitoreo del desempeño.

Actualmente, la clasificación de la infraestructura vial de acuerdo a su seguridad propuesta por iRAP (clasificación por estrellas) es uno de los indicadores de las “Metas mundiales de desempeño de carácter voluntario sobre los factores de riesgo y los mecanismos de prestación de servicios en la esfera de la seguridad vial”, de la Organización Mundial de la Salud, cuyo cumplimiento se contempla hacia el 2030.

El protocolo que propone actualmente iRAP para clasificar la infraestructura carretera por estrellas evalúa tanto elementos geométricos como físicos y operacionales de la misma, así como su interacción. Por ello, se eligió esta metodología como herramienta para clasificar las carreteras mexicanas según su riesgo de siniestralidad vial. Actualmente la metodología iRAP considera 78 atributos, los cuales se pueden clasificar de la siguiente manera: información general, datos complementarios, costado de la vía, características de la vía, intersecciones, flujo, velocidades e infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo.

En este estudio se analizan los atributos que evalúa la metodología iRAP y se relacionan con las condiciones particulares en México sobre la manera en que se clasifican y diseñan las carreteras, para ello se seleccionarán diferentes “Casos de Estudio”. La evaluación de estos casos de estudio se realiza a través del simulador ViDA (software en línea de iRAP), el cual puede utilizarse de manera gratuita.

Los tramos carreteros elegidos para los casos de estudio cuentan con diferentes características y clasificaciones normativas. A continuación, se enlistan estos tramos y los kilómetros que fueron analizados:

1. México-Toluca (libre), del km 36+000 al 41+000.
2. Libramiento Noreste Querétaro, del km 0+000 al 37+500.
3. Libramiento Oriente de San Luis Potosí, del km 0+000 al 33+760.
4. Libramiento Norte de la Ciudad de México, del km 54+000 al 79+000.
5. Uruapan-Lázaro Cárdenas (cuota), del km 132+200 al 154+000.
6. Irapuato - Zapotlanejo (libre), del km 27+000 al 50+000.
7. Libramiento Norte de San Luis Potosí, del km 0+000 al 31+000.
8. Querétaro - Salamanca (libre), del km 13+500 al 26+000.
9. San Miguel de Allende-Ojuelos de Jalisco, del km 144+000 al 173+000.
10. León - Aguascalientes (libre), del km 51+000 al 83+000.
11. Guanajuato - Silao (libre), del km 1+750 al 9+000.



# Introducción

---

Actualmente las muertes por accidentes de tránsito se han convertido en una de las principales causas de muerte en el mundo, por lo que la mayoría de los países han implementado programas que reduzcan la siniestralidad vial, enfocándose principalmente en minimizar las víctimas mortales y los heridos.

En 2018, México reportó 377 mil accidentes de tránsito, dejando como resultado 97 mil heridos y más de 15 mil muertos. Son varias las circunstancias que contribuyen a la ocurrencia de los accidentes, pero hablando específicamente de lo relacionado con la vía 15% del total se relaciona con esto, ocupando el segundo lugar respecto a las causas de accidentes en México [Cuevas, *et al.* 2019].

La seguridad vial es un tema fundamental para la concepción de un transporte moderno, sustentable y en constante proceso de mejora. En México poco a poco se abren espacios para debatir sobre este tema; sin embargo, aún queda un largo camino por recorrer para posicionar la seguridad vial como un factor prioritario en la movilidad terrestre del país.

En las últimas décadas la proporción de la población que habita en zonas urbanas ha crecido de manera acelerada, cambiando notablemente la dinámica de las ciudades. Adicionalmente, la popularización de los vehículos de motor particulares como medio de transporte individual ha originado nuevos retos para el sistema de transporte terrestre. Esta situación ha traído consigo innumerables beneficios, sin embargo, también ha ocasionado problemas como los indeseables efectos de la contaminación, los congestionamientos viales y la siniestralidad vial. En este escenario, las necesidades de movilidad de la sociedad en general demandan cada vez traslados de mayores distancias, tanto de personas como de mercancías, a un menor costo y en menor tiempo, dejando en múltiples ocasiones la seguridad vial en segundo término.

Conscientes del impacto que tiene la siniestralidad vial en la economía y en la calidad de vida de sus habitantes, varios países han emprendido mecanismos para controlar y disminuir al mínimo posible la ocurrencia y gravedad de los siniestros viales. Considerando que éstos son provocados por la interacción de varios elementos dentro del sistema de transporte como: el vehículo, el conductor, la infraestructura y el entorno, no parecería tarea sencilla. Sin embargo, muchos países han logrado importantes reducciones en sus cifras de siniestralidad a través de mejoras en los 5 pilares fundamentales promovidos por la Organización de las Naciones Unidas: gestión de la seguridad vial, vías de tránsito y movilidad más seguras, vehículos más seguros, usuarios de vías de tránsito más seguros (educación vial) y respuesta tras los accidentes (atención médica de emergencia).

En esta ardua labor de mejora de la seguridad vial, ha surgido la necesidad de implementar mecanismos que cuantifiquen la seguridad de una vía o red vial, apareciendo herramientas como la metodología de categorización de carreteras del iRAP (Programa Internacional de Evaluación de Carreteras, por sus siglas en inglés). En el presente estudio se utilizará esta herramienta que asigna estrellas a la infraestructura vial de acuerdo con sus características de seguridad, la cual cuenta con reconocimiento internacional.

Dentro de este estudio también se discutirá sobre los atributos que evalúa la metodología iRAP con las condiciones particulares del entorno mexicano y la manera en que se clasifican y diseñan las carreteras en el país, para lo cual se considerarán “Casos de Estudio” característicos de carreteras actualmente en operación.

El objetivo del presente estudio es dar a conocer las situaciones de alto riesgo que se encuentran sistemáticamente en la infraestructura carretera, mismas que reducen las estrellas de acuerdo con la clasificación desarrollada por iRAP (la cual considera la interacción de los elementos geométricos, operacionales y de seguridad de las vías). Al identificar las situaciones potencialmente peligrosas, queda como tarea de todos los involucrados en el desarrollo de la infraestructura carretera evitarlas tanto en proyectos carreteros nuevos, en construcción y actualmente en operación.

Existen muchas recomendaciones internacionalmente probadas hacia los elementos que contribuyen en el desempeño de seguridad de una carretera. El alcance de este estudio se limita al análisis de casos de estudio de carreteras existentes que pertenecen a la Red Carretera Federal, con el fin de medir la influencia que tienen los atributos considerados dentro de la metodología de clasificación de carreteras por estrellas iRAP con la seguridad vial.

Para iniciar, en el capítulo 1 se presentan los principales factores relacionados con el riesgo en la infraestructura, divididos en las siguientes categorías: características geométricas de la vía, elementos físicos y características operacionales. Posteriormente, en el capítulo 2 se describe la herramienta que se utilizará para el análisis de los casos de estudio (clasificación por estrellas iRAP), mientras que en el capítulo 3 se presentan dichos casos de estudio. En el capítulo 4 se describen los principales hallazgos y finalmente se muestran las conclusiones del estudio.

Esta investigación se alinea con el objetivo prioritario 1 del Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2020-2024 “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”, a su estrategia prioritaria 1.2 y sus acciones puntuales “Mejorar la seguridad vial en la Red Carretera Federal para el bienestar de todos los usuarios”, así como también a la acción puntual 1.5.5 “Aumentar la investigación científica y capacidad tecnológica vinculadas a las necesidades del sector”.

# 1. Factores relacionados con el riesgo en la infraestructura

---

Varios son los elementos que se relacionan con el riesgo en una infraestructura vial, mismos que contribuyen en la ocurrencia de siniestros viales. Debido a lo anterior, se han realizado mejoras para el diseño y construcción de la infraestructura vial con el fin de hacerlas más seguras. Por ejemplo, en México se han hecho actualizaciones al *Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras* [DGST, 2018] y publicado el nuevo *Manual de Auditorías de Seguridad Vial* de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, ambos en 2018.

Sin lugar a duda un proyecto geométrico de calidad es uno de los factores más importantes para garantizar la seguridad vial. En este sentido, a medida que el tránsito vehicular aumenta se vuelve fundamental diseñar y construir carreteras con estándares geométricos más elevados y, por lo tanto, más seguros.

Por ejemplo, una carretera con el mayor estándar geométrico requiere de las siguientes características: la mayor velocidad de proyecto permitida de acuerdo con su topografía, sentidos de circulación separados por mediana, control total de accesos a las propiedades aledañas, zonas laterales benignas, intersecciones a desnivel con rampas de entrada y salida, por mencionar algunas. El descuido de alguno de estos elementos puede ocasionar riesgo de accidentes.

Para el presente trabajo se entiende por factor de riesgo todo elemento, condición, característica o circunstancia que incremente la probabilidad de que ocurra un accidente. Estos factores se engloban en el vehículo, el factor humano, la vía y su entorno.

Específicamente, en esta sección describiremos los principales factores relacionados con la infraestructura vial que ponen en riesgo a los usuarios como: las características geométricas, los elementos físicos y las características operacionales.

## 1.1 Características geométricas de la vía

Existe una innegable relación entre el desempeño de seguridad de una vía y sus características geométricas. Algunas de las variables que más intervienen en el riesgo de accidentes en una carretera son: alineamiento horizontal y vertical, número y ancho de carriles, ancho de acotamiento, grado de curvatura y número de intersecciones. En los siguientes incisos se describirán los elementos más importantes que intervienen en la seguridad de una vía en relación a sus características geométricas.

### **1.1.1 Alineamiento horizontal**

Un alineamiento horizontal adecuado aumenta la seguridad en una vía, sin embargo, si presenta errores de diseño se pueden desencadenar graves consecuencias. De acuerdo con Mendoza et al. (2002) es más probable que los accidentes ocurran en las curvas que en las tangentes, la frecuencia promedio de accidentes en segmentos en curvas horizontales es tres veces superior a la de segmentos en tangente. A esto se añade que los segmentos en curva suelen tener mayores proporciones de accidentes severos en superficie mojada. Además, a medida que aumentan los grados de curvatura, las curvas horizontales suelen tener mayores tasas de accidentalidad.

Así pues, resulta evidente la imperiosa necesidad de considerar la seguridad en el diseño horizontal de una vía, especialmente en curvas. A este respecto, es elemental prestar atención a la estabilidad que un vehículo debe tener cuando transite sobre un tramo curvo. Existen varias causas que vuelven inestable a un vehículo en una curva, experimentando tendencias a salirse de su trayectoria; por ejemplo, cuando actúan fuerzas transversales sobre éste ya sea por problemas en el vehículo (carga mal distribuida, llantas desinfladas, problemas con la suspensión, entre otras causas) o por la fuerza centrífuga que se ejerce, pudiendo causar que el vehículo se deslice o vuelque.

Los accidentes en curvas horizontales también pueden ocurrir debido a una inadecuada sobreelevación o por un pavimento derrapante. Adicionalmente, en ocasiones los conductores “cortan la curva”, es decir, conducen describiendo una curva con mayor radio a la que ha sido construida para disminuir la fuerza centrífuga, invadiendo uno o varios carriles. Por lo anterior, queda en evidencia que el radio de curvatura es el principal factor que afecta la seguridad en curvas horizontales; sin embargo, el ancho de acotamiento, el ancho de circulación y la longitud de la curva (en ese orden) son también importantes [Mendoza et al., 2002].

A manera de ejemplo, de acuerdo con DGST (2018), para una velocidad de proyecto de 110 km/h el radio recomendado debe ser de al menos 417 m, asegurando la construcción de una autopista segura. En otras palabras, los segmentos con radio menor a 417 m tienen más probabilidades de presentar accidentes que los segmentos con radio mayores, esto siempre y cuando se acompañe con un adecuado alineamiento vertical, sección transversal y proyecto de señalamiento.

### **1.1.2 Alineamiento vertical**

Algunos elementos del alineamiento vertical también contribuyen en el desempeño de la seguridad de una infraestructura vial. Por ejemplo, las curvas verticales en cresta pueden presentar problemas con la distancia de visibilidad, ocasionando diversos accidentes. Asimismo, las pendientes sostenidas de más de 6% en sentido descendente están generalmente asociadas con una mayor frecuencia de accidentes, principalmente con camiones de carga, a pesar de que en los últimos años han mejorado su comportamiento y capacidad de frenado.

Uno de los errores en la etapa de diseño es considerar el alineamiento vertical y horizontal aisladamente, o independientemente de los estándares de proyecto aplicables al resto de la carretera, causando un problema denominado inconsistencia del camino. La consistencia a lo largo de una carretera es particularmente importante para que todo usuario entienda la vía y transite de manera segura. En este sentido, si tanto el alineamiento horizontal y vertical tienen elementos que pueden poner en riesgo la seguridad en la operación de una vía, la combinación de ambos puede causar las peores situaciones. Por esa razón se tiene que prestar mayor énfasis a la consistencia a lo largo de la carretera, pues las expectativas de los conductores determinan significativamente su comportamiento y por consiguiente la probabilidad de verse envueltos en un accidente.

En general, las vialidades con un buen trazado tienen alrededor de 25% menos siniestros viales que las que tienen un trazado deficiente.

### 1.1.3 Sección transversal

La sección transversal de la carretera incluye los carriles de circulación, los acotamientos, bordillos, elementos del drenaje, así como los cortes y los terraplenes. Al respecto, varios estudios realizados para correlacionar la sección transversal con la seguridad vial han determinado que la mayoría de sus elementos intervienen en ella.

De acuerdo con Mendoza et al. (2002), los factores que tienen más participación sobre la seguridad de la vía son:

- i. Ancho de carril: Los anchos de carril que generan las menores frecuencias de accidentes en carreteras son los comprendidos entre 3.4 y 3.7 m. Los anchos de carril menores de 3 metros contribuyen a generar accidentes multi-vehiculares, es decir, con más de un vehículo involucrado.
- ii. Ancho de acotamiento: la incidencia de accidentes se reduce cuando el ancho de acotamiento aumenta de 0 a 2 metros (o inclusive hasta 3 metros). Sin embargo, debemos cuidar que no parezca un carril adicional que los usuarios puedan utilizar como carriles auxiliares, ya que esto causaría un incremento en los índices de accidentalidad (efecto contrario a lo que se busca). También, el hecho de que los acotamientos se encuentran revestidos o no influye en la seguridad, es mejor cuando se encuentran revestidos.

Es importante mencionar que para obtener una vía más segura es preferible una combinación de mejoras, es decir, tener una carretera con anchos de carril establecidos en la norma de diseño y con acotamientos del ancho requerido.

DGST (2018) recomienda un ancho de carril de 3.50 m para todo tipo de carreteras y señala que son recomendables los acotamientos de 3.00 m en carreteras importantes como autopistas de cuatro o más carriles. En carreteras de dos carriles,

o con velocidad de proyecto de al menos 70 km/h, se recomiendan acotamientos de 2.50 m; en las demás se permiten más angostos, pero no menores que 1.0 m.

Respecto al ancho de la mediana o separación central en carreteras que no cuentan con un sistema de barreras de protección central, se recomienda una separación de al menos 8 metros de ancho, ya que se disminuye la posibilidad de accidentes frontales.

Otro problema de seguridad en vías en operación se relaciona con la pendiente transversal del camino, debido a la formación de películas o capas de agua de al menos 6 mm. Esta situación genera un efecto de “hidroplaneo” debido a la reducción del coeficiente de fricción entre el pavimento y las llantas de los vehículos a un valor cercano a cero, haciendo virtualmente imposibles las operaciones de frenado o de viraje controlado. De aquí la necesidad de contar con un buen drenaje superficial para evitar esta indeseable situación.

Respecto a lo anterior, DGST (2018) señala que en México un bombeo de 2% da buenos resultados en los pavimentos de alto y regular desempeño (pavimentados), mientras que para los de desempeño pobre (revestidos) se recomienda un bombeo de entre 3 y 6%. Cabe mencionar que en curvas horizontales a la pendiente transversal se le denomina “sobreelevación”, cuyo valor máximo es de 10% hacia el centro de la curva, excepto en lugares con heladas y nevadas frecuentes donde la sobreelevación máxima se limita a 8%. En este caso, toda el agua drena hacia el interior de la curva.

Finalmente, es importante mencionar que un aumento en el ancho de las vías reduce el número de siniestros viales con víctimas en las carreteras interurbanas, pero puede provocar un aumento de los siniestros en las zonas urbanas, pues incita a los usuarios a desarrollar mayores velocidades. Por ello, es necesario tomar las consideraciones necesarias de acuerdo al alcance y tipo de proyecto a realizar.

#### **1.1.4 Distancias de visibilidad**

Este aspecto es muy importante, ya que en la tarea de la conducción debemos estar alertas y prestar atención a nuestro alrededor para tomar decisiones. A veces nos encontramos en situaciones en donde es difícil o imposible visualizar adecuadamente nuestro entorno, lo cual podría ocasionar que se tomen decisiones incorrectas.

Los accidentes aumentan notoriamente cuando existe una corta o nula distancia de visibilidad, especialmente de noche con un sólo vehículo involucrado [Mendoza et al., 2002]. Al respecto, una curva horizontal aguda o una curva vertical en cresta pueden estar relacionadas con una escasa distancia de visibilidad, lo cual incrementa el riesgo de seguridad. Resulta entonces importante minimizar este problema, otorgando distancias de visibilidad adecuadas y establecidas por norma.

En síntesis, resulta evidente que las distancias de visibilidad insuficientes están asociadas con la ocurrencia de accidentes. El grado de riesgo varía con las características de la carretera, pero algunas características y combinaciones de ellas son más peligrosas que otras [Mendoza et al., 2002].

### **1.1.5 Intersecciones**

Una intersección es un área donde dos o más vías se unen o cruzan, éstas pueden ser a nivel o a desnivel. Dichas áreas se convierten en puntos de conflicto debido a que confluyen diferentes flujos y movimientos en un mismo espacio. Así pues, resulta indudable que a mayor número de intersecciones en una vía mayor será el riesgo de colisiones debido a los conflictos de cruce producidos.

Como recomendación, se deben considerar los siguientes puntos en la revisión de la seguridad vial de las intersecciones de carreteras existentes: i) la consistencia del alineamiento horizontal y vertical, de manera que se cuente con las distancias de visibilidad requeridas y ii) colocar dispositivos de control de tránsito para alertar a los conductores donde la intersección se encuentra al final de tramos de alta velocidad.

Otros elementos que influyen en la seguridad de una intersección son: el número de ramales de acceso, número de puntos de conflicto, el tipo de control de tránsito y el señalamiento anticipado. De igual manera, interviene la distancia de visibilidad, el ángulo de esviaje de la intersección, si la intersección se encuentra en curva, el control de accesos, los radios de la intersección y las canalizaciones.

Proporcionar la distancia de visibilidad apropiada para el tipo de intersección es esencial para dar tiempo a los conductores para percibir la necesidad de una respuesta y reaccionar. Mantener los triángulos de visibilidad, ya sea en intersecciones no controladas o con control de prioridad, es una medida de seguridad vial importante.

Finalmente, el diseño de las intersecciones interviene en gran medida en el comportamiento y la seguridad de los usuarios vulnerables, especialmente en los peatones.

### **1.1.6 Puentes y alcantarillas**

Los puentes y alcantarillas que cruzan una carretera están relacionados con la seguridad vial más que nada por los elementos de su estructura como pilas o muros de carga, ya que éstos se localizan generalmente muy próximos a las zonas laterales del camino que interseca. Estos elementos son significativamente riesgosos en accidentes por salida de camino, razón por lo que es recomendable alejarlos de los carriles de circulación o colocarles protección para mejorar la seguridad vial.

En el diseño de puentes nuevos es muy importante considerar la ubicación y protección de sus muros y pilas, recurriendo a normas y manuales que reglamenten

los anchos del puente, sus acotamientos, barandillas y postes, esto con el fin de que el nuevo puente sea seguro y funcional [Mendoza *et al.*, 2002].

En cuanto a las alcantarillas, se recomienda hacerlas traspasables para evitar que se conviertan en un peligro cuando los vehículos salgan del camino por causas fortuitas, corriendo el riesgo de caer o volcarse sobre éstas.

## **1.2 Elementos físicos**

De la misma manera que las características geométricas juegan un papel importante sobre el riesgo en una vía, los elementos físicos también son fundamentales y un error en ellos puede ser la causa de accidentes viales. En las siguientes líneas se describirán algunos de los elementos físicos que intervienen en elevar el riesgo en una carretera.

### **1.2.1 Señalamiento**

El señalamiento se clasifica de manera general en horizontal y vertical. En México existe una normativa oficial de cumplimiento obligatorio que regula sus características [DOF, 2011], así como un Manual propio de la SCT [DGST, 2014] en correlación a lo señalado por dicha normativa oficial.

Las señales horizontales son el conjunto de marcas y dispositivos viales conformadas por líneas, flechas, símbolos, leyendas, botones, botones reflejantes, boyas y delimitadores que se colocan sobre el pavimento, guarniciones y estructuras. El propósito del señalamiento horizontal es delinear las características geométricas de las carreteras y vialidades urbanas. Asimismo, sirve para 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.

Por su parte, el señalamiento vertical es el conjunto de señales en tableros con leyendas y pictogramas fijados en postes, marcos y otras estructuras. Según su propósito estas señales se clasifican en: señales restrictivas, señales preventivas, señales informativas, señales turísticas y de servicios y señales de mensaje cambiante. Las características de dimensión y posición de estas señales dependen de la velocidad máxima permitida de la carretera.

A pesar de ser un elemento fundamental para la operación de una vía, el señalamiento también es considerado un factor de riesgo. Este riesgo viene dado por dos situaciones extremas, ya sea por un exceso o una ausencia de señales. Un exceso de señalización ocasiona distracción y confusión al conductor, disminuyendo su capacidad de atención al momento de conducir; a este problema se le denomina “contaminación visual”. Por otra parte, la ausencia de señales debilita la comunicación con los usuarios respecto a las restricciones que encontrará en el camino, advertencias, guiado o información de carácter general, ocasionando

que puedan perderse o lleguen a encontrar alguna situación para la cual no están preparados.

Adicionalmente, la incorrecta colocación del señalamiento es también un factor que contribuye al riesgo en la vía. En México existe una peligrosa tendencia a pretender solucionar o corregir defectos estructurales o de diseño geométrico mediante la señalización temporal, la cual pasa a ser permanente si no existe un mantenimiento adecuado.

### **1.2.2 Iluminación**

Un camino iluminado crea una sensación de seguridad por la noche, por lo cual es muy recomendable colocar iluminación artificial en lugares con flujos de tránsito elevados en período nocturno.

Al tener un camino con un sistema de alumbrado adecuado se logra la disminución de los accidentes ocurridos en la noche; sin embargo, se debe prestar atención a la instalación de las luces, tomando en cuenta la orientación visual, la apariencia y el rendimiento en color, el nivel de luminancia y la uniformidad del patrón de luz, con el fin de proveer una buena percepción para el usuario.

Con respecto a la uniformidad de la iluminación, se recomienda que no existan puntos muy iluminados seguidos de puntos en total oscuridad, sino una adecuada distribución y transición de la luz.

La iluminación influye directamente al conductor en aspectos tales como la distancia de visibilidad, la agudeza visual, la rapidez de percepción, el deslumbramiento, la recuperación al deslumbramiento y la capacidad de distinguir los colores; por lo cual se recomienda iluminar una carretera con un tipo de luminaria diferente al de una vía urbana.

Al colocar el alumbrado de forma adecuada, con respecto a la geometría de la infraestructura, el usuario percibirá una imagen que le ayudará a identificar el curso del camino. Por otro lado, las carreteras con deficiencias en el sistema de iluminación aumentan la peligrosidad de conducir en horas sin luz natural.

### **1.2.3 Drenaje**

El drenaje y subdrenaje son muy importantes para la operación adecuada de una carretera ya que canalizan los escurrimientos del agua, evitando situaciones que pueden resultar riesgosas tanto para la estructura del pavimento como para los usuarios [Palma, 2012]. Por ejemplo, cuando el pavimento no cuenta con un buen drenaje, en época de lluvias pueden ocurrir acumulaciones excesivas de agua y ocasionar accidentes debido al “hidroplaneo” (el cual impide la fricción de los neumáticos con la superficie del pavimento) y por consiguiente causar derrapes que podrían terminar en un grave accidente.

El objetivo principal de un buen drenaje es reducir o eliminar la energía generada por una corriente de agua y evitar la presencia de humedad excesiva en el pavimento. Si no se cumple este objetivo, se repercute negativamente en las propiedades mecánicas de los materiales con que fue constituido.

Para garantizar un adecuado drenaje de la vía se debe alterar lo menos posible la red de drenaje natural. Asimismo, se debe retirar el agua superficial y subsuperficial del camino, distribuyéndola de tal forma que se impida la acumulación excesiva en zonas inestables; además de dar mantenimiento periódico preventivo a las obras de drenaje.

En general, es sumamente importante colocar obras de drenaje adecuadas de acuerdo al proyecto carretero y sobre todo darles mantenimiento para evitar posibles siniestros viales.

### **1.2.4 Elementos de seguridad vial**

En esta sección se consideran algunos elementos de la vía que refuerzan la seguridad hacia los usuarios. Algunos de ellos al no ser colocados adecuadamente o debido a la falta de mantenimiento se convierten en un riesgo más que incrementa la probabilidad de accidentes de tránsito.

#### ***Barreras de seguridad***

La colocación de una barrera de seguridad surge como recomendación en tramos con zonas laterales con riesgos como: precipicios, árboles, postes o cualquier objeto fijo que represente un peligro ante una salida intempestiva del camino, lo cual podría ocasionar accidentes con graves consecuencias.

La función de una barrera de seguridad es redireccionar a los vehículos que salgan de la calzada, permitiendo que el conductor retome el control del vehículo. Además, han probado ser muy efectivas en reducir el nivel de daño post-colisión, disminuyendo el grado de severidad de lesiones personales en los ocupantes de los vehículos. Para lograr esta función las barreras deben ser diseñadas, evaluadas e instaladas correctamente.

Para absorber un impacto con el menor riesgo posible de lesiones hacia los ocupantes del vehículo es muy importante que los sistemas de contención se diseñen adecuadamente, pero también es fundamental que sean colocados de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, cuidando anclajes, traslapes y los puntos de inicio y término de las barreras.

Las barreras de seguridad deben proteger de accidentes causados por la pérdida de control vehicular a todos los usuarios de la vía (conductores, ocupantes de los vehículos, ciclistas, motociclistas y peatones que circulan en zonas próximas a la calzada), mitigando el riesgo de choques contra objetos fijos, salidas de camino, volcaduras, choques frontales y atropellamientos.

Es importante mencionar que las barreras en sí constituyen un elemento de riesgo, por lo que de no ser necesarias no deben ser colocadas. En este sentido, se instalarán sistemas de contención siempre y cuando la posible salida del camino de un vehículo descontrolado represente un riesgo aún mayor que la propia barrera.

Adicionalmente, si una barrera cuenta con un diseño inapropiado o se encuentra en mal estado, el propio riesgo de la barrera aumenta y los posibles accidentes pueden tener consecuencias fatales. Por ello es esencial un programa de mantenimiento efectivo, que garantice una reparación inmediatamente después de que se produzca algún daño en las barreras al cumplir la función para la cual son instaladas.

### ***Bandas sonoras***

Las bandas sonoras avisan al conductor de la invasión del acotamiento mediante vibración y sonido. Esa vibración es causada por el tratamiento que se aplica en la orilla del carril exterior y consiste en crear un relieve discontinuo. Esta medida reduce ampliamente la probabilidad de salir del camino en vías monótonas con tangentes prolongadas que hacen que el conductor pierda la atención. Por otro lado, no se recomiendan en carreteras de alta montaña cuyo trazo mantiene a los conductores atentos al camino.

Es importante que la instalación de las bandas sonoras sea realizada de acuerdo a su descripción en normas y manuales, para evitar diseños erróneos que demeriten su eficiencia o produzcan un efecto contrario en la seguridad. Por ejemplo, un diseño inadecuado podría provocar la pérdida de control del vehículo debido al sobresalto del conductor al ser despertado abruptamente por las bandas sonoras.

### ***Rampas de emergencia***

Las rampas de frenado de emergencia son muy efectivas cuando son diseñadas adecuadamente, éstas sirven para detener vehículos fuera de control en carreteras con pendientes prolongadas, especialmente vehículos pesados.

Esta infraestructura funciona para hacer una vía más segura, pero si el diseño no es el adecuado representa otro tipo de riesgo; por ejemplo, puede causar inconsistencias en el camino provocando confusión sobre el alineamiento. Otras desventajas son que sólo pueden instalarse cuando la geometría lo permite y que únicamente son efectivas después de que el vehículo se ha descontrolado.

Para mitigar esa problemática, es necesaria una señalización que sea completamente entendible por el usuario. En general, se recomienda colocar señales desde el punto más alto de la pendiente descendente para avisar a los usuarios sobre las velocidades seguras (especialmente a los vehículos pesados) y sugerir la comprobación del funcionamiento de sus frenos.

## **1.2.5 Infraestructura para usuarios vulnerables**

Cualquier usuario tiene riesgo de lesión o muerte en caso de un accidente de tránsito, sin embargo, algunos corren mayores riesgos que otros.

En 2013 la Organización Mundial de la Salud definió como usuarios vulnerables a los peatones, ciclistas y motociclistas, debido a la carencia de protección externa. Los responsables de las políticas de transporte y las autoridades de tránsito de cada país deben ser los que provean una infraestructura vial segura que integre la protección de los usuarios vulnerables de la vía.

Con respecto a los peatones, su protección es evidentemente fundamental, ya que caminar es parte esencial de la movilidad cotidiana (aunque sólo sea desde un vehículo estacionado hasta llegar al destino final). Si bien pareciera que el diseño de una carretera no requiere infraestructura para peatones, lo cierto es que en muchas ocasiones se encuentra presencia de este tipo de usuarios en ellas; por ejemplo, en asentamientos lineales a los costados del camino o cuando se atraviesan poblaciones. En estas situaciones los peatones se ven obligados a transitar por el costado del camino si no se cuenta con infraestructura destinada para ellos, con el riesgo que esto conlleva. Por ello, resulta importante colocar infraestructura adecuada que los proteja, eliminando su convivencia directa con los vehículos de motor a fin de evitar los atropellamientos.

En ocasiones se considera infraestructura para los peatones, pero ésta es poco práctica, por ejemplo, cuando se colocan puentes peatonales para dejar la vía libre a los vehículos de motor.

Algunas de las causas de accidentes cuando los peatones y los vehículos de motor conviven en el mismo espacio sin ningún tipo de infraestructura son: falta de educación vial (tanto de peatones como de conductores), poco respeto a las medidas de seguridad vial, desobediencia a los señalamientos y/o semáforos, cruces por lugares inadecuados o de manera intempestiva, exceso de velocidad de los vehículos automotores, peatones caminando o parados sobre la superficie de rodamiento destinada para la circulación de los vehículos y ascenso-descenso de vehículos en lugares inapropiados.

Respecto a los ciclistas, éste es un medio de transporte que en los últimos años se ha fomentado alrededor del mundo, con el fin de promover el uso de transporte sustentable (principalmente en zonas altamente urbanizadas). Sin embargo, al fomentar el uso de la bicicleta también debe considerarse la infraestructura necesaria para este tipo de usuarios, reservando un espacio propio en la vía para su circulación y evitando que conviva directamente con vehículos de motor o peatones. En nuestro país tenemos aún mucho trabajo al respecto. En el caso específico de las carreteras, este tipo de usuarios puede aparecer también en tramos que atraviesan poblaciones o donde se encuentran asentamientos lineales a los costados de la vía.

En la mayoría de las carreteras de México que cuentan con una considerable presencia de ciclistas no existe un carril o vía especial para ellos, así que circulan lo más cerca del borde derecho de la calzada (a veces sobre el acotamiento externo si se encuentra transitable), pero definitivamente en un espacio insuficiente.

Con respecto a los motociclistas, en nuestro país su circulación se considera en el mismo espacio físico que para el resto de los vehículos de motor. En general, se requieren muchos elementos para lograr una inclusión segura de este tipo de movilidad, pero sobre todo una buena educación vial por parte de todos los usuarios de la vía. Una muy importante recomendación para la infraestructura carretera con alto flujo de este tipo de usuarios es la colocación de barreras de seguridad amigables con los motociclistas.

## **1.3 Características operacionales**

Las características operacionales de un camino intervienen notoriamente en la aparición de accidentes de tránsito, en las siguientes líneas se describirán las más importantes.

### **1.3.1 Tránsito**

El aumento del tránsito en las vías representa siempre un riesgo. En general, las tasas de crecimiento del tránsito siguen siendo positivas a pesar del aumento en los programas de movilidad que fomentan el transporte público y las bicicletas, constituyendo un peligro para la calidad de vida urbana.

El aumento en el tránsito ejerce una creciente presión sobre la capacidad de las vías, diseñadas para un número limitado de vehículos. Los impactos negativos que el aumento del tránsito genera, tanto inmediato como a largo plazo, exigen esfuerzos multidisciplinarios para mantener bajo control este crecimiento.

Al haber una gran cantidad de tránsito vehicular los accidentes también incrementan, por lo cual el control de la congestión tendrá que formar parte de la elaboración de una visión estratégica a largo plazo para el desarrollo de una movilidad sostenible. Esta situación es complicada y exige una alta capacidad profesional y de liderazgo por parte de las autoridades encargadas de dichos temas.

### **1.3.2 Tipo de usuarios**

El ser humano, ya sea en la modalidad de conductor, pasajero, peatón, ciclista o motociclista, puede ser víctima o victimario en la carretera. Por ello, se debe instruir para que tenga una conducta adecuada, independientemente de su rol en la vía. En este sentido, al convivir todo tipo de usuarios en la vía se debe prestar atención a las reglas para evitar cualquier situación que ponga en riesgo la vida de alguno.

La conducta de los usuarios se ve influenciada por múltiples distracciones, por ejemplo, el uso del celular mientras se conduce o camina. Además de otros factores

de riesgo como manejar a velocidades excesivas, no respetar las señales de tránsito y conducir bajo la influencia de alcohol o drogas.

En México no se cuenta con una cultura vial bien establecida a la hora de conducir o transitar por las vías, de ahí que existan altos índices de accidentes debido a la incorrecta conducta de los usuarios. Por lo anterior, es necesario crear campañas para culturizar a todos los tipos de usuarios de la vía, con el fin de controlar la ocurrencia de siniestros viales.

Es importante seguir estudiando el factor humano para entender el comportamiento del conductor y demás usuarios, con el fin de proponer medidas de seguridad vial actuales y más eficaces.

En síntesis, el diseño de carreteras debe estar centrado en su función y las características de todos los usuarios que tendrá, buscando siempre minimizar la posibilidad de ocurrencia de siniestros.

### **1.3.3 Velocidad**

La velocidad es uno de los factores que más interviene en el aumento del riesgo a presentar accidentes en la vía. Al respecto, la velocidad de proyecto debe cumplir con las expectativas de los usuarios al momento de transitar el camino. Para lograr esto se recomienda diseñar para la velocidad más alta razonable que cubra los niveles deseados de movilidad y de eficiencia, pero sobre todo de seguridad, considerando las restricciones ambientales, económicas y estéticas, así como los impactos sociales y políticos. La velocidad de proyecto también debe ser coherente con la topografía, el uso del suelo adyacente y el tipo de camino.

Diseñar con las velocidades de proyecto más elevadas de acuerdo con la función de la vía satisface las necesidades de los usuarios, evitando que éstas sean excedidas tanto en frecuencia como en magnitud.

La velocidad también juega un papel fundamental cuando se transita sobre una curva, principalmente en usuarios que transitan a velocidad excesiva puesto que se aumenta la magnitud de la fuerza centrífuga. Adicionalmente, cuando un conductor reduce la velocidad de su vehículo en la transición de un tramo recto a una curva el riesgo de choques por alcance aumenta.

Cuando el volumen de tránsito de vehículos pesados es considerable la velocidad también representa un riesgo, ya que éstos viajan a velocidades más bajas aumentando las necesidades de rebase de los vehículos ligeros. Otro aspecto a considerar es la dispersión de velocidades que presentan diferentes vehículos sobre la vía, ya que esta situación también aumenta el riesgo de accidentes, por lo cual se debe tratar de controlar dicha dispersión.

### 1.3.4 Pavimento

Los accidentes de tránsito están relacionados de manera directa con el estado del pavimento, así como el coeficiente de fricción de la superficie de éste. Ya sea una estructura de pavimento rígido o flexible, un pavimento con deterioros como desprendimientos de la carpeta, roderas o cualquier otra situación que pueda desestabilizar a los vehículos que transitan sobre éste pueden ocasionar accidentes.

Uno de los principales factores que influyen en la seguridad vial es la fricción que se produce entre la llanta y la superficie de rodadura, necesaria para que la dinámica del vehículo funcione adecuadamente. Asimismo, las grietas, fisuras e irregularidades en la superficie de rodadura reducen el confort durante la conducción y ponen en peligro a los usuarios de la vía.

El efecto del estado del pavimento también guarda una relación muy importante con la velocidad, estos dos factores están íntimamente ligados con la probabilidad de que un siniestro pueda llegar a presentarse. Por ejemplo, cuanto mayor sea la velocidad de circulación y peor el estado del pavimento, aumenta las posibilidades de accidentes. Ante esta situación el conductor deberá estar atento para poder operar el vehículo y no perder el control.

Otro aspecto se refiere al drenaje en el pavimento ya que, si la superficie se encuentra mojada, sobre todo en tramos donde se da un cambio de velocidad o trayectoria, es más probable que se presente un accidente, además de dificultar la conducción.

Para garantizar un buen estado del pavimento es necesario realizar mantenimiento y evaluaciones periódicas, tomando muestras para analizarlas en laboratorio de ser necesario, con el fin de obtener parámetros como el coeficiente de fricción o el índice internacional de rugosidad (IRI, por sus siglas en inglés). Lo anterior para llevar un control del estado del pavimento y minimizar los accidentes de tránsito por fallas en éste.

### 1.3.5 Zona de obras

Una zona de obras es un lugar donde se realizan trabajos de construcción. Cuando existen zonas de obras en carreteras en operación generalmente se debe convivir con el tránsito, pues en ocasiones es imposible desviarlo por completo. Esta situación se convierte en una amenaza tanto para los usuarios de la vía como para los trabajadores. En general, una zona de obras representa un punto de alto riesgo por su potencial ocurrencia de accidentes.

Debido a lo anterior, se han implementado diversas estrategias y procedimientos para asegurar la zona de obras. Idealmente se debería desviar el tránsito para que los vehículos circulen a una distancia segura de la zona en cuestión, de esa manera se evita la convivencia directa entre trabajadores y usuarios.

Es sumamente importante regular la velocidad en las zonas de obras, además de brindar seguridad en la parte inicial, ya que por lo regular es la más propensa a presentar siniestros. Se debe advertir y guiar a los usuarios de la vía sobre la proximidad de la obra, con el fin de que estén prevenidos y atentos a las indicaciones de los movimientos a realizar para circular por dicha zona.

Un plan de manejo de tránsito temporal bien diseñado y una señalización oportuna permitirán una zona de obras segura, que informará con antelación la proximidad de las restricciones, guiará de manera clara a través de la zona intervenida y protegerá a los trabajadores.

Otro aspecto importante es que ocasionalmente al finalizar la obra los señalamientos temporales no son retirados, lo que provoca confusión al momento de transitar sobre la vía causando siniestros viales.

### **1.3.6 Control de accesos**

El control de accesos está relacionado directamente con la accidentalidad debido a que una alta densidad de accesos provoca un aumento en el número de conflictos en la vía. En general, en carreteras colectoras los índices de accidentes son más elevados que en una autopista donde el control de accesos es total.

Controlar los accesos a través del uso de vías laterales puede ser una herramienta bastante efectiva. Sin embargo, no siempre es posible controlar todos los accesos, en cuyos casos podemos darles tratamientos a través de carriles específicos para dar vuelta y carriles de aceleración y deceleración. Otra medida importante es disminuir el número de accesos privados sobre las vías.

El control de accesos tiene como objetivo reducir el número de conexiones a la vía, sobre todo caminos y accesos privados, así como conseguir la máxima seguridad en cada uno de los puntos de acceso permitidos y distribuir el tránsito de modo tal que la tasa total de siniestralidad vial sea mínima.

### **1.3.7 Zonas laterales**

Las zonas laterales de una carretera son un factor un tanto olvidado en la infraestructura vial en México. Las zonas laterales deben ser tratadas de manera oportuna debido a que ponen en riesgo la operación de la vía, esto principalmente por la presencia de objetos peligrosos, pues al presentarse algún desafortunado incidente sus consecuencias se agravan.

La infraestructura vial debe contar con una “zona despejada” en su área adyacente, la cual se mantenga libre de peligros como postes, árboles y arbustos con diámetros mayores a 10 cm, muros de obras de drenaje, terraplenes con inclinación mayor a 4:1 (relación horizontal-vertical) y otros objetos fijos. El ancho de esta zona segura debe ser consistente con el diseño geométrico, la velocidad de operación, composición vehicular y nivel de tránsito.

### 1.3.8 Entorno

El clima y circunstancias temporales como lluvia, niebla, viento, hielo, nieve, cruce de animales, etc. también representan riesgo en la vía.

Algunos de los riesgos que ocurrirían en caso de presentarse eventos temporales relacionados con el clima son:

- i. Lluvia: cuando cae agua sobre el pavimento se forma una película lubricante que facilita el deslizamiento o pérdida de control del vehículo, por eso se debe reducir la velocidad y aumentar el espacio entre vehículos.
- ii. Niebla: esta situación causa una gran cantidad de accidentes porque se puede llegar a perder casi por completo la visibilidad de la vía, por lo que se recomienda disminuir la velocidad y aumentar la distancia entre vehículos.
- iii. Viento: con este factor se incrementa el riesgo de desplazamiento o vuelco del vehículo.
- iv. Hielo: otra condición que supone una pérdida total de adherencia, ocasionando salidas de la vía o choques contra objetos al costado de la carretera.
- v. Nieve: para esta situación es necesario el uso de cadenas en las llantas del vehículo, ya que la superficie del pavimento en esa condición es propensa a derrapes de los vehículos ocasionando salidas de la vía.

En síntesis, para reducir el riesgo de siniestralidad en una carretera se deben analizar los accidentes que podrían ocurrir, con el fin de aplicar medidas para evitar y/o minimizar los posibles conflictos. Esto puede lograrse mediante el control de los movimientos del tránsito con señalamientos, separando los distintos tipos de usuarios con carriles especiales (como la ciclovías o senderos peatonales), a través de la reducción de la velocidad en los puntos de conflicto y eliminando o protegiendo los riesgos laterales a lo largo de la carretera.

Además, se debe evitar la incertidumbre en el comportamiento del conductor mediante un diseño geométrico definido y preciso, aunado a una señalización inequívoca. Lo anterior considerando siempre la seguridad de todos los usuarios de las carreteras.



## 2. Herramienta de análisis

---

### 2.1 Antecedentes

En respuesta a la problemática que deriva de la siniestralidad vial, la cual se ha intensificado en las últimas décadas a nivel internacional a consecuencia de la creciente demanda de movilidad y del aumento en el parque vehicular, se han desarrollado diversas herramientas, normas, programas y políticas para controlar la siniestralidad vial y sus efectos. En lo que atañe a la infraestructura vial, han surgido técnicas como las auditorías de seguridad vial, el análisis de puntos negros, innovaciones en dispositivos de seguridad, programas integrales como el “Sistema Seguro” y “Visión Zero”, acuerdos internacionales, etc.

Uno de los esfuerzos globales más importantes que considera todos los elementos involucrados en la problemática de siniestralidad vial ha sido el *Decenio de acciones por la seguridad vial 2011-2020*, declarado por la Asamblea General de las Naciones Unidas, el cual tiene la meta de reducir a la mitad el número de personas fallecidas a causa de siniestros de tránsito. Este Decenio surge en el marco del cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en específico el Objetivo 3 “Salud y Bienestar”, que dentro de la meta 3.6 dicta: “para 2020, reducir a la mitad el número de muertes y lesiones causadas por accidentes de tráfico en el mundo”. El *Decenio de acciones por la seguridad vial 2011-2020* establece 5 pilares en los cuales se debe trabajar para lograr las metas en la reducción de muertes, los cuales son: Pilar 1 “Gestión de la seguridad vial”, Pilar 2 “Vías de tránsito y movilidad más seguras”, Pilar 3 “Vehículos más seguros”, Pilar 4 “Usuarios de vías de tránsito más seguros” y Pilar 5 “Respuesta tras los accidentes”.

Entre los múltiples esfuerzos internacionales para controlar las indeseables consecuencias de la siniestralidad vial, surgió la idea de clasificar tanto los automóviles como las carreteras en función de su seguridad, con la finalidad de mantener estándares que permitan una movilidad segura. Esta categorización se planteó en términos de estrellas (de 1 a 5), donde 5 estrellas equivalen a infraestructura o vehículos con las mejores condiciones de seguridad y 1 estrella a las peores; es decir, de una manera similar a como se categoriza la calidad y servicios en los hoteles. Es así como surgen los programas de evaluación de carreteras y de autos nuevos (RAP y NCAP respectivamente por sus siglas en inglés).

En lo que respecta a los programas RAP, el iRAP (Programa Internacional de Evaluación de Carreteras) es la versión general. Este programa ha desarrollado

cuatro protocolos avalados a nivel internacional para evaluar y mejorar la seguridad vial:

- i. Mapas de riesgos: Utiliza datos de colisiones para ilustrar el número real de muertes y lesiones en una red vial.
- ii. Clasificación por estrellas: Proporciona una medida simple y objetiva del nivel de seguridad.
- iii. Planes de inversión para vías más seguras: Se basan en medidas probadas de mejoramiento de carreteras para generar opciones de infraestructura asequible y económicamente sólida para salvar vidas.
- iv. Monitoreo del desempeño: Permite el uso de la clasificación por estrellas y los mapas de riesgos para monitorear el desempeño de la seguridad vial y establecer posiciones de política.

Así pues, el iRAP no se ha limitado a categorizar las vialidades de acuerdo con su seguridad, sino que ha desarrollado técnicas para proponer planes de inversión económicamente rentables dirigidos a mejorar la seguridad de la infraestructura y relacionar estos esfuerzos con la reducción de muertos y lesionados graves a consecuencia de la siniestralidad vial.

Actualmente, la clasificación de la infraestructura vial de acuerdo a su seguridad propuesta por iRAP (clasificación por estrellas) es uno de los indicadores de las “Metas mundiales de desempeño de carácter voluntario sobre los factores de riesgo y los mecanismos de prestación de servicios en la esfera de la seguridad vial”, desarrollados por los Estados Miembros de la Organización Mundial de la Salud (OMS) durante el 2017, cuyo cumplimiento se contempla con un horizonte hacia el 2030. Estas metas de carácter voluntario buscan evaluar los progresos y el cumplimiento de las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, basándose en los mismos 5 pilares en los que se fundamenta el *Decenio de acciones por la seguridad vial 2011-2020*. En específico, la clasificación por estrellas de la infraestructura vial es utilizada como indicador en las metas voluntarias 3 y 4 correspondientes al Pilar 2 “Infraestructura vial y movilidad más segura”, dichas metas se presentan en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1 Indicadores para las metas mundiales de desempeño de carácter voluntario en la esfera de la seguridad vial.**

META	INDICADOR MUNDIAL DE LA META
Meta 3: Para 2030, todas las carreteras nuevas cumplirán normas técnicas para todos los usuarios que tengan en cuenta la seguridad vial, o cumplan con una calificación de tres estrellas o más.	Número de países con normas técnicas para carreteras que tienen en cuenta la seguridad de todos los usuarios, tienen una calificación equivalente a tres o más estrellas, o se ajustan a los convenios pertinentes de las Naciones Unidas.
Meta 4: Para 2030, más del 75% de los viajes en carreteras existentes se realizan en carreteras que cumplen con normas técnicas para todos los usuarios, teniendo en cuenta la seguridad vial.	

El protocolo que propone actualmente iRAP para clasificar la infraestructura carretera por estrellas evalúa tanto elementos geométricos como físicos y operacionales de la misma, así como su interacción. Cabe mencionar que los desarrolladores de este programa han trabajado durante varios años para perfeccionar sus protocolos, con lo cual han logrado el reconocimiento y la aprobación de organismos internacionales.

Con base en estos antecedentes, para el presente estudio se ha elegido la metodología iRAP como herramienta para clasificar las carreteras mexicanas según su riesgo de siniestralidad vial, al comprobar que su protocolo para categorizar la seguridad de la infraestructura vial por estrellas es aplicable al entorno mexicano y evalúa atributos geométricos, físicos y operacionales; además de contar con reconocimiento a nivel internacional.

Asimismo, en este estudio se analizarán los atributos que evalúa la metodología iRAP y se relacionarán con las condiciones particulares del entorno mexicano y la manera en que se clasifican y diseñan las carreteras en el país, para ello se seleccionarán diferentes “Casos de Estudio” característicos de carreteras existentes pertenecientes a la Red Carretera Federal.

## 2.2 Descripción del iRAP

Como se menciona anteriormente, el Programa Internacional de Evaluación de Carreteras (iRAP por sus siglas en inglés) es la versión general de los Programas de Evaluación de Carreteras (RAP) en todo el mundo. Se trata de una organización sin fines de lucro que trabaja para eliminar vías de alto riesgo con el objetivo de salvar vidas. El iRAP se formó en el año 2006 y desde entonces se han ido incorporando mejoras en sus protocolos y recomendaciones, posicionándose como una herramienta para cuantificar la seguridad de la infraestructura vial con validez y reconocimiento internacional.

Con el fin de particularizar la problemática de seguridad vial de cada región o país, y sobre todo las propuestas de mejora para la infraestructura, algunos países han desarrollado sus propios programas RAP, como es el caso de Europa (EuroRAP), Australia (AusRAP), Estados Unidos de América (usRAP), Nueva Zelanda (KiwiRAP), China (ChinaRAP), India (IndiaRAP), Brasil (BrazilRAP) y Sudáfrica (SARAP).

La clasificación por estrellas de la infraestructura vial es uno de los 4 protocolos que ofrece el iRAP, el cual permite medir simple y objetivamente el nivel de seguridad vial que proporciona una vialidad, además de contar con la aprobación de diversos organismos internacionales.

Para realizar una evaluación aplicando esta metodología se requiere de un levantamiento fotográfico o de video de la infraestructura vial, el cual debe permitir la identificación exacta de la ubicación de las imágenes. Posteriormente, en escritorio se procesan estas imágenes codificándolas por secciones de 100 metros,

para lo cual se seleccionan las características predominantes (o más desfavorables desde la perspectiva de la seguridad vial) de diversos atributos que incluyen cuestiones operativas, geométricas y de elementos físicos de la vía inspeccionada. Esta codificación requiere datos complementarios por sección respecto a los flujos de usuarios presentes como: Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) de vehículos de motor, porcentaje de motociclistas, flujo peatonal (cruzando la calzada y caminando a lo largo del lado del copiloto y del conductor), flujo de ciclistas y velocidades medias y de operación de los vehículos de motor.

Para agilizar los trabajos de codificación es recomendable el uso de softwares para la visualización de imágenes que identifiquen su ubicación y permitan seleccionar las características de cada atributo de manera simultánea. Dados los múltiples criterios que deben evaluarse, este proceso de codificación no puede ser automático, sino que es realizado manualmente por personal con capacitación específica al respecto y acreditado ante iRAP. Adicionalmente, cada codificación pasa por una revisión de calidad a fin de asegurar que ésta se ha realizado correctamente y no presenta errores.

La codificación efectuada es procesada mediante el algoritmo ViDA desarrollado por iRAP, el cual asigna probabilidades de ocurrencia y severidad de diferentes tipos de siniestros con base en las características de los atributos codificados. De esta manera se calcula el “puntaje” de la clasificación por estrellas, el cual establece rangos para la asignación de 1 a 5 estrellas como se muestra en la Tabla 2.2, categorizando así cada sección de 100 metros de la infraestructura procesada en función de los atributos codificados.

**Tabla 2.2. Rangos del “puntaje” para la asignación de la clasificación por estrellas iRAP**

Clasificación por estrellas	Puntaje de protección de la vía
5	0 a < 2.5
4	2.5 a < 5.0
3	5.0 a < 12.5
2	12.5 a < 22.5
1	> 22.5

Fuente: iRAP

Finalmente, se realiza un proceso llamado “suavizado”, mediante el cual se uniformiza la clasificación por estrellas para secciones más largas (cada cierta longitud o por tramos establecidos), con el fin de facilitar la visualización de la clasificación de estrellas del tramo evaluado.

La metodología iRAP actualmente considera 78 atributos en su codificación, relacionados éstos con diferentes características físicas, geométricas y operativas de la vía, así como para identificar información sobre la recolección y codificación de cada sección. Estos atributos se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. **Información general.** En un total de 12 atributos reúne información respecto a la codificación (nombre del codificador y fecha de codificación), el levantamiento (fecha de recolección de imágenes e identificación de imagen de referencia), la vialidad bajo estudio (nombre de la vía, nombre del tramo, kilometraje, longitud de la sección, latitud y longitud), puntos de referencia (hitos) y comentarios.
2. **Datos complementarios.** 4 atributos sobre información relacionada con los objetivos de la política de clasificación por estrellas, es decir, las metas planteadas en términos de estrellas para cada tipo de usuario (ocupante de vehículo de motor, motociclista, ciclista y peatón); así como 1 atributo en relación a la tasa de crecimiento de los fallecimientos a causa de los siniestros viales en la vía evaluada y 1 atributo referente a las características de legibilidad de la vía (vía auto-explicativa).
3. **Costado de la vía.** Contiene 7 atributos relacionados con los peligros presentes en ambos lados de la vía evaluada, así como información sobre bandas alertadoras y acotamientos.
4. **Características de la vía.** Con 17 atributos se identifican las características principales de la vía evaluada como lo es su geometría, elementos físicos, pavimento, señalización y demás características relacionadas con su seguridad.
5. **Intersecciones.** Mediante 5 atributos se identifican las características principales de la o las intersecciones ubicadas en la sección codificada.
6. **Flujo.** 11 atributos que identifican las características principales del flujo de los distintos tipos de usuarios presentes en la vía evaluada. Cuatro de estos atributos se obtienen de manera indirecta: flujos en hora pico de peatones cruzando la carretera, caminando del lado del piloto, caminando del lado del copiloto y ciclistas.
7. **Velocidades.** Mediante 7 atributos se identifican las características operativas de la vía en relación con la velocidad a la que circulan los usuarios de vehículos de motor, así como los límites de velocidad oficiales y la presencia de elementos pacificadores de tránsito (reductores de velocidad).
8. **Infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo.** Mediante 13 atributos se identifican las características principales de la infraestructura para usuarios vulnerables (peatones, ciclistas y motociclistas) si es que existen, así como el tipo de área y uso de suelo a los costados de la vía.

En las siguientes tablas se presentan cada uno de los atributos de la infraestructura vial que se codifican en la metodología iRAP de acuerdo a las 8 categorías indicadas anteriormente, así como las opciones que brinda para cada uno de ellos.

**Tabla 2.3. Atributos de información general**

Información general	Nombre del codificador
	Fecha de codificación
	Fecha de inspección de la vía
	Referencia de imagen
	Nombre de la vía
	Sección/Tramo
	Distancia
	Longitud
	GPS Latitud
	GPS Longitud
	Hito
	Comentarios

**Tabla 2.4. Datos complementarios**

Datos complementarios	Objetivos de políticas para la clasificación por estrellas para ocupantes de vehículos		
	Objetivos de políticas para la clasificación por estrellas para motocicletas		
	Objetivos de políticas para la clasificación por estrellas para ciclistas		
	Objetivos de políticas para la clasificación por estrellas para peatones		
	Multiplicador de crecimiento de mortalidad anual		
	Vías que los autos pueden leer		Cumple

**Tabla 2.5. Atributos respecto al costado de la vía**

Costado de la vía	Severidad lateral	Distancia al objeto lado conductor	0 a < 1 m	1 a < 5 m	5 a < 10 m	≥ 10 m		
		Distancia al objeto lado copiloto						
		Objeto lado conductor	Barrera de seguridad	Metal				
				Concreto				
				Amigable para motociclistas				
				Cables				
			Cara vertical agresiva	Corte con pendiente ascendente	Gradiente para rodar sobre éste			
					Gradiente para no rodar sobre éste			
			Cuneta de drenaje profunda					
			Terraplén					
			Precipicio					
			Árbol ≥ 10 cm					
			Señal, poste o polo ≥ 10cm					
			Estructura, edificación o puente rígido					
Estructura o edificación semi rígidos								
Inicio de barrera de seguridad con terminal no protegida								
Rocas grandes ≥ 20 cm alto								
Ninguno								
Banda de alerta en el acotamiento		Presente		Ausente				
Acotamiento	Lado del conductor	Ancho ≥ 2.4 m	Medio ≥ 1.0 a 2.4m	Estrecho ≥ 0 a 1.0m	Ninguno			
	Lado del copiloto							

Tabla 2.6. Atributos respecto a las características de la vía

Características de la vía	Etiqueta de calzada	Cuerpo A de una carretera de cuerpos separados		
		Cuerpo B de una carretera de cuerpos separados		
		Carretera no dividida		
		Cuerpo A de la infraestructura para motocicleta		
		Cuerpo B de la infraestructura para motocicleta		
	Costo de modernización	Bajo	Medio	Alto
	Tipo de separador central	Barrera de seguridad	Metal	
			Concreto	
			Amigable para motociclistas	
			Cables	
		Faja separadora central física	de ancho $\geq 20m$	
			de ancho $\geq 10m$ y $< 20m$	
			de ancho $\geq 5m$ y $< 10m$	
			de ancho $\geq 1m$ y $< 5m$	
			de ancho $\geq 0m$ y $< 1m$	
		Carril central continuo para vueltas		
		Indicadores de alineamiento flexibles		
		Línea central		
		Un solo sentido		
	Raya doble $> 1m$ y rayas diagonales a $45^\circ$			
	Raya separadora doble (0.3 a 1m) y rayas diagonales			
	Banda de alerta en el centro de la carretera	Presente		Ausente
	Número de carriles	Uno	Dos	Tres
		Dos y uno		Tres y uno
	Ancho de carril	Ancho $\geq 3.25m$	Medio $\geq 2.75m$ y $< 3.25m$	Estrecho $\geq 0m$ y $< 2.75m$
	Curvatura	Recta o ligeramente curvo		Moderada
		Cerrada		Muy Cerrada
	Calidad de la curva	Adecuada	Deficiente	No aplica
	Pendiente	$\geq 0\%$ y $< 7.5\%$	$\geq 7.5\%$ y $< 10\%$	$\geq 10\%$
	Condición del camino	Bueno	Regular	Malo
Resistencia al deslizamiento	Pavimentada	adecuado		
		regular		
		pobre		
	Revestida	adecuada		
pobre				
Señalamiento	Adecuado		Deficiente	
Alumbrado público	Presente		Ausente	
Estacionamiento para ocupantes de vehículos	Ambos lados	Un lado	Ninguno	
Calle de servicio	Presente		Ausente	
Obras	Sin obras	Obra menor en proceso	Obra mayor en proceso	
Distancia de visibilidad	Adecuado		Deficiente	

**Tabla 2.7. Atributos respecto a presencia de intersecciones**

<b>Intersecciones</b>	Tipo de intersección	Carril de incorporación			
		Glorieta			
		3 ramas	(no semaforizada) con giro continuo		
			(no semaforizada) sin giro continuo		
			(semaforizada) con giro continuo		
			(semaforizada) sin giro continuo		
		4 ramas	(no semaforizada) con giro continuo		
			(no semaforizada) sin giro continuo		
			(semaforizada) con giro continuo		
			(semaforizada) sin giro continuo		
		Ninguno			
		Cruce de ferrocarril	pasivo (sólo señalización vertical)		
	activo (semáforo intermitente/pluma)				
	Punto de cruce de faja separadora central informal				
	Punto de cruce de faja separadora central formal				
Mini-glorieta					
Canalización de la intersección	Presente		Ausente		
Volumen de la carretera intersectada (TDPA)	≥ 15,000	5,000 - 10,000	100 - 1,000	Ninguno	
	10,000-15,000	1,000 - 5,000	1 - 100		
Calidad de la intersección	Adecuada	Deficiente		No aplica	
Puntos de acceso a propiedad	Uno o más accesos comerciales				
	3 o más accesos residenciales				
	1 o 2 accesos residenciales				
	Ninguno				

**Tabla 2.8. Atributos respecto al flujo en la vía**

<b>Flujo</b>	Flujo vehicular (TDPA)		Número			
	% motocicletas		0	11% - 20%	61% - 80%	No registrado
			1% - 5%	21% - 40%	81% - 99%	
			6% - 10%	41% - 60%	100%	
	Flujo peatonal en hora pico a lo largo de la carretera	Cruzando la carretera	0	51 a 100	401 a 500	
		Del lado del conductor	1 a 5	101 a 200	501 a 900	
		Del lado del copiloto	6 a 25	201 a 300	900+	
Flujo de bicicletas en hora pico		26 a 50	301 a 400			

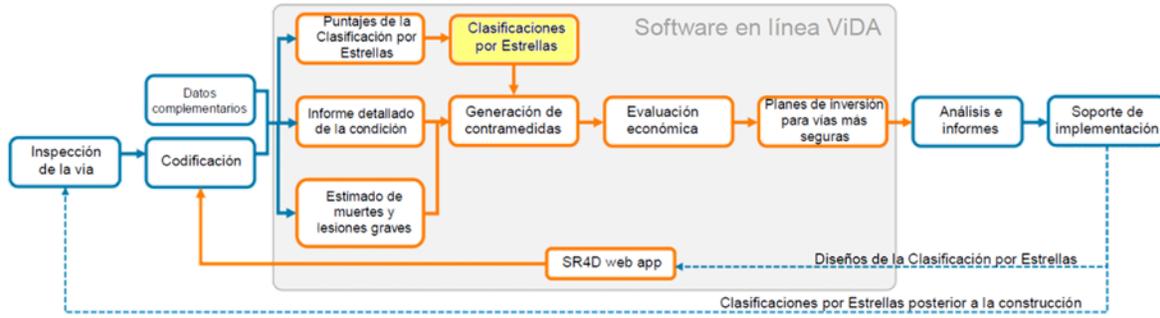
**Tabla 2.9. Atributos respecto a la velocidad**

<b>Velocidades</b>	Límite de velocidad	Elegibles entre < 30km/h, desde 40 hasta 140 km/h con incrementos a cada 10 km/h y ≥ a 150 km/h		
	Velocidad de operación (85 percentil)	Elegibles entre < 30km/h, desde 35 hasta 145 km/h con incrementos a cada 5 km/h y ≥ a 150 km/h		
	Velocidad de media	Elegibles entre < 30km/h, desde 35 hasta 145 km/h con incrementos a cada 5 km/h y ≥ a 150 km/h		
	Límites de velocidad diferenciales	Presente		Ausente
	Infraestructura para disminuir velocidad (reductores de velocidad, rayas logarítmicas,	Presente		Ausente

**Tabla 2.10. Atributos respecto a la infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo**

Infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo	Uso de suelo	Del lado del conductor	Agricultura y ganadería	Residencial	Educativo	
		Del lado del copiloto	Industrial y manufacturero	Comercial	Sin desarrollo	
	Tipo de área	Rural / área abierta		Urbano / población pequeña		
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera inspeccionada	peatonal	Infraestructura de cruce en carretera secundaria	Sin infraestructura		
				Infraestructura a desnivel		
				No semaforizada, señalizada con pintura y con refugio		
				No semaforizada, señalizada con pintura y sin refugio		
				Semaforizada con refugio		
				Semaforizada sin refugio		
				Sólo refugio		
				Cruce demarcado elevado sin señalizar, con refugio		
				Cruce demarcado elevado sin señalizar, sin refugio		
				Cruce no demarcado elevado, con refugio		
	Cruce no demarcado elevado, sin refugio					
	Calidad de cruce peatonal	Adecuado	Deficiente	No aplica		
	Cerca para contener peatones	Presente		Ausente		
	Banqueta del lado del conductor	Banqueta del lado del conductor	Ninguno			
			Barrera física			
			Separación no física	≥ 3 m		
				1 a 3 m		
0 a < 1 m						
Vereda ≥ 1 m						
Vereda 0 a < 1 m						
Infraestructura para motocicletas	Motovía exclusiva	de un sentido con barrera				
		de un sentido sin barrera				
		de dos sentido con barrera				
		de dos sentido sin barrera				
		Motovía compartida en la carretera				
Infraestructura para bicicletas	Ninguno					
	Vía fuera de la carretera con barrera					
	Vía fuera de la carretera					
	Carril en la carretera					
	Ninguno					
	Extremo derecho extra ancho ≥ 4.2 m					
	Vía compartida con señalamiento vertical					
Ciclovia de uso compartido						
Señal de cuidado, zona escolar	Balizas intermitentes en zona escolar					
	Señalización estática o demarcación horizontal en zona escolar					
	Sin señal de cuidado, zona escolar					
	No aplica (no hay escuela en el lugar)					
Guardia de cruce en zona escolar	Presente en horario de entrada y salida de la escuela					
	No presente					
	No aplica (no hay escuela en el lugar)					

En la Figura 2.1 se muestra un esquema general con el proceso que tiene el iRAP para la clasificación por estrellas y la generación de planes de inversión para lograr vías más seguras.



Fuente: iRAP, manual de codificación

**Figura 2.1. Proceso iRAP para la Clasificación por estrellas y planes de inversión para vías más seguras**

Para aplicar el protocolo “clasificación por estrellas” de iRAP en el presente estudio, se evaluarán una serie de casos a través de un simulador disponible en el sitio web ViDA (software en línea de iRAP), el cual puede utilizarse gratuitamente con ciertas limitaciones al registrarse dando de alta un usuario. Este simulador permite la selección de los atributos descritos de la Tabla 2.5 a la Tabla 2.10; los atributos descritos en la Tabla 2.3 (información general) y Tabla 2.4 (datos complementarios) no intervienen en el proceso de clasificación por estrellas, por lo cual no son incluidos en dicho simulador. En la Figura 2.2 se presenta una vista del sitio web donde se aloja el simulador de clasificación por estrellas iRAP. En el siguiente capítulo se describirán los casos de estudio y los resultados obtenidos a través de este simulador.



**Figura 2.2. Simulador para la clasificación por estrellas iRAP**

## 3. Casos de estudio

---

### 3.1 Clasificación general de carreteras en México

En México, para la concepción inicial y diseño de una carretera se define el tipo de camino a proyectar; similarmente, la infraestructura carretera operante se cataloga según su tipo.

De acuerdo con la normativa oficial vigente, los caminos y puentes federales se clasifican según el Apéndice para la Clasificación de los Caminos y Puentes 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* [DOF, 1994]. A su vez, este Reglamento forma parte del fundamento de la NOM-012-SCT-2-2014. Así pues, de acuerdo con dicho Apéndice, los caminos en México se clasifican de la siguiente manera:

- i. **Carreteras tipo ET:** son aquellas que forman parte de los ejes de transporte que establezca la Secretaría, cuyas características geométricas y estructurales permiten la operación de todos los vehículos autorizados con las máximas dimensiones, capacidad y peso, así como de otros que por interés general autorice la Secretaría, y que su tránsito se confine a este tipo de caminos.
- ii. **Carreteras tipo A:** son aquellas que por sus características geométricas y estructurales permiten la operación de todos los vehículos autorizados con las máximas dimensiones, capacidad y peso, excepto aquellos vehículos que por sus dimensiones y peso sólo se permitan en las carreteras tipo ET.
- iii. **Carreteras tipo B:** son aquellas que conforman la *red primaria* y que atendiendo a sus características geométricas y estructurales prestan un servicio de comunicación interestatal, además de vincular el tránsito.
- iv. **Carreteras tipo C:** *Red secundaria*, son carreteras que atendiendo a sus características prestan servicio dentro del ámbito estatal con longitudes medias, estableciendo conexiones con la red primaria.
- v. **Carreteras tipo D:** *Red alimentadora*, son carreteras que atendiendo a sus características geométricas y estructurales principalmente prestan servicio dentro del ámbito municipal con longitudes relativamente cortas, estableciendo conexiones con la red secundaria.

Adicionalmente, en este Apéndice se especifica que, atendiendo a sus características geométricas, las carreteras se tipifican en: carreteras de cuatro

carriles eje de transporte (ET4), carreteras de dos carriles eje de transporte (ET2), carretera de cuatro carriles (A4), carreteras de dos carriles (A2), carretera de cuatro carriles red primaria (B4), carretera de dos carriles red primaria (B), carretera de dos carriles red secundaria (C) y carretera de dos carriles red alimentadora (D).

Por su parte, el *Manual de Proyecto Geométrico* [DGST, 2018], documento técnico que guía los lineamientos del diseño geométrico de una carretera en México, indica que la clasificación de la infraestructura carretera tiene como objetivo agruparlas de acuerdo a sus características físicas y sus funciones; y es necesaria para la logística entre los ingenieros, administradores y público en general. Este Manual menciona las siguientes clasificaciones:

- i. **Clasificación administrativa.** Se utiliza para indicar los diferentes niveles de responsabilidades gubernamentales, así como el financiamiento, modernización y conservación de las mismas. Esta clasificación cataloga las carreteras en *federal, estatal y rural*.
- ii. **Clasificación por nomenclatura.** Identificación alfanumérica de 6 caracteres (3 alfabéticos y 3 numéricos) que se asigna al itinerario entre dos puntos geográficos de largo recorrido, pues se conforma por varias vías que siguen una trayectoria determinada. Los caracteres alfabéticos determinan si es una carretera federal “MEX” o estatal (abreviatura correspondiente al estado), mientras que los caracteres numéricos se asignan según la orientación general de la ruta (números noes corresponden al sentido norte-sur y números pares al sentido este-oeste).
- iii. **Clasificación según importancia.** Categorización de las carreteras de acuerdo con el servicio regional que proporcionan: *red troncal* (primaria), *red alimentadora* (secundaria) y *red colectora* (terciaria).
- iv. **Clasificación normativa.** Corresponde a la clasificación especificada en el *Reglamento sobre el peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal*. El Manual [DGST, 2018] considera esta clasificación como “técnica”, pues se respalda en las características geométricas de las carreteras a partir de datos básicos para proyecto geométrico como: 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, distancias de rebase o de encuentro según sea el caso, entre otros. Así pues, esta clasificación es la que se utiliza para proyectar un camino. En la Tabla 3.1 extraída del Manual [DGST, 2018] se presentan algunas características de las carreteras de acuerdo con esta clasificación.

Tabla 3.1. Características de carreteras de acuerdo con su clasificación normativa

Carretera tipo	Número de carriles	Control de accesos	Denominación geométrica
ET,A	1 o más por sentido	Total o parcial	Autopista o multicarril
B	1 o más por sentido	Total o Parcial	Carretera de 2 carriles o multicarril
C	1 por sentido	Parcial	Carretera de 2 carriles
D	1 por sentido	Sin control	Camino rural

Fuente: (DGST, 2018)

- v. **Clasificación de las carreteras según su función.** Esta clasificación enlista las siguientes categorías: control total de accesos, control parcial de accesos, camino dividido, camino no dividido, arteria urbana, camino de dos carriles, camino de tres carriles, camino de carriles múltiples, vía rápida y autopista.

Por otro lado, la Dirección General de Conservación de Carreteras tipifica cada tramo carretero que atiende en: *Corredor*, *Básica* y *Secundaria*.

De este modo, tenemos que en México existen múltiples formas y criterios para catalogar una carretera, obedeciendo a características geométricas, operativas, administrativas, etc. Es muy importante que las carreteras, tanto a nivel proyecto como las que ya se encuentran operando, sean clasificadas con criterios claros para que, como lo indica el mismo Manual de Proyecto Geométrico [DGST, 2018], puedan ser agrupadas de acuerdo a sus “características físicas y sus funciones”. Esta claridad en los criterios de clasificación no sólo es importante para definir los elementos de diseño de un camino, sino para su operación, mantenimiento, administración y entendimiento por parte de los usuarios.

Otro tema es el seccionamiento de la red de caminos existentes del país, pues cada dependencia encargada de su mantenimiento, administración, normativa, etc. tiene variaciones en la identificación de cada tramo, lo cual complica el cumplimiento del objetivo que tiene una clasificación y propicia la existencia de rutas conformadas por tramos con diferentes características, lo cual constituye un peligro para la seguridad en la operación de cualquier camino.

## 3.2 Elección de casos de estudio

A fin de realizar un análisis sobre la clasificación de carreteras utilizando el protocolo iRAP “*Clasificación de carreteras por estrellas*”, se seleccionaron 11 tramos carreteros con características diferentes, en especial en cuanto a su clasificación oficial [DOF, 1994], pues esta clasificación involucra características geométricas y operativas.

Para seleccionar cada caso de estudio se consultó la clasificación oficial de carreteras contenida en [DOF, 1994], cuya actualización más reciente se publicó en el Diario Oficial de la Federación mediante un Aviso modificatorio el 12 de junio del 2015 [DOF, 2015]. Los tramos seleccionados para los casos de estudio se citan en

la Tabla 3.2, los cuales serán analizados a través del simulador disponible en la plataforma ViDA de iRAP para obtener su clasificación por estrellas.

**Tabla 3.2. Casos de estudio**

<b>Carretera</b>	<b>Ruta</b>	<b>Clasificación Oficial</b>	<b>Inicio</b>	<b>Fin</b>	<b>Longitud (km)</b>
1. México-Toluca (libre)	MEX 015	ET4	36+000	41+000	5.00
2. Libramiento Noreste Querétaro	MEX 057 D	ET4	0+000	37+500	37.50
3. Libramiento Oriente de San Luis Potosí	MEX 057 D	ET4	0+000	33+760	33.76
4. Libramiento Norte de la Ciudad de México	MEX 040 D	ET4	54+000	79+000	25.00
5. Uruapan-Lázaro Cárdenas (cuota)	MEX 037 D	ET2	132+200	154+000	21.80
6. Irapuato - Zapotlanejo (libre)	MEX 90	A4	27+000	50+000	23.00
7. Libramiento Norte de San Luis Potosí	MEX 057 D	A2	0+000	31+000	31.00
8. Querétaro - Salamanca (libre)	MEX 045	B4	13+500	26+000	12.50
9. San Miguel de Allende-Ojuelos de Jalisco	MEX 051	B2	144+000	173+000	29.00
10. León - Aguascalientes (libre)	MEX 045	C	51+000	83+000	32.00
11. Guanajuato - Silao (libre)	MEX 110	D	1+750	9+000	7.25

### **3.2.1 Carretera México-Toluca**

La carretera federal libre México-Toluca forma parte de la ruta MEX 015, que va desde la Ciudad de México hasta Nogales, Sonora, integrando el corredor troncal más largo del país. Es una de las carreteras más transitadas del país con un flujo vehicular que llega a superar los 100 mil vehículos diarios en las cercanías con la ciudad de Toluca [DGST, 2019].

El tramo de esta importante carretera que se analizará comprende del kilómetro 36+000 al 41+000. Se seleccionó dicho tramo con longitud corta debido a que sus características y clasificación oficial fluctúan notablemente, teniendo una distancia clasificada como “C” y otra como “ET4” de acuerdo con [DOF, 2015], además de tener secciones totalmente inmersas en las manchas urbanas de las zonas metropolitanas de la Ciudad de México y de Toluca.

El tramo bajo estudio se compone de una sección transversal de 3 carriles por sentido de circulación con cuerpos separados. En la Figura 3.1 se presenta una vista satelital y en la Figura 3.2 y Figura 3.3 se muestran vistas características de la sección transversal de este tramo tomadas a partir de la información más reciente disponible en Google Maps.



Figura 3.1. Vista satelital km 36 a 41 de la carretera federal libre México-Toluca



Figura 3.2. Imagen de sección transversal del cuerpo A (febrero 2019)



Figura 3.3. Imagen de sección transversal del cuerpo B (mayo 2018)

Para elegir las características de los atributos a ingresar en el simulador ViDA para este caso de estudio, se seleccionaron aquellas más representativas del tramo a

través de un recorrido con la herramienta *Google Street View*. De la Tabla 3.3 a la Tabla 3.8 se presentan las opciones seleccionadas para el cuerpo A de este caso.

**Tabla 3.3. Selección de atributos en relación al “costado de la vía”, cuerpo A**

Costado de la vía	Severidad lateral	Distancia al objeto-lado conductor	0 a < 1 m
		Objeto-lado conductor	Inicio de barrera de seguridad con terminal no protegida
		Distancia al objeto-lado copiloto	1 a <5m
		Objeto-lado copiloto	Señal, poste o polo $\geq$ 10cm
	Banda de alerta en el acotamiento	Ausente	
	Acotamiento	Lado del conductor	Estrecho $\geq$ 0 a 1.0m
Lado del copiloto		Estrecho $\geq$ 0 a 1.0m	

**Tabla 3.4. Selección de atributos sobre “características de la vía”, cuerpo A**

Características de la vía	Etiqueta de calzada	Cuerpo A de una carretera de cuerpos separado
	Costo de modernización	Alto
	Tipo de separador central	Faja separadora central física de ancho $\geq$ 20m
	Banda de alerta en el centro de la carretera	Ausente
	Número de carriles	Tres
	Ancho de carril	Ancho $\geq$ 3.25m
	Curvatura	Cerrada
	Calidad de la curva	Deficiente
	Pendiente	$\geq$ 0% y <7.5%
	Condición del camino	Regular
	Resistencia al deslizamiento	Pavimentada - regular
	Señalamiento	Deficiente
	Alumbrado público	Ausente
	Estacionamiento para ocupantes de vehículos	Ninguno
	Calle de servicio	Ausente
Obras	Obra mayor en proceso	
Distancia de visibilidad	Adecuado	

**Tabla 3.5. Selección de atributos sobre las “intersecciones”, cuerpo A**

Intersecciones	Tipo de intersección	Carril de incorporación
	Canalización de la intersección	Presente
	Volumen de la carretera intersectada	1 - 100
	Calidad de la intersección	Deficiente
	Puntos de acceso a propiedad	1 o 2 accesos residenciales

**Tabla 3.6. Selección de atributos en relación al “flujo”, cuerpo A**

Flujo	Flujo vehicular (TDPA)	25,000	
	% motocicletas	1% - 5%	
	Flujo peatonal en hora pico a lo largo de la carretera	Cruzando la carretera	0
		Del lado del conductor	0
	Del lado del copiloto	1 a 5	
Flujo de bicicletas en hora pico	1 a 5		

**Tabla 3.7. Selección de atributos en relación a las “velocidades”, cuerpo A**

Velocidades	Límite de velocidad	80km/h
	Límites de velocidad diferenciales	Ausente
	Infraestructura para disminuir velocidad (topes, reductores de velocidad, rayas logarítmicas, etc.)	Ausente
	Velocidad de operación (85 percentil)	95km/h

**Tabla 3.8. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo”, cuerpo A**

Infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo	Uso de suelo	Del lado del conductor	Sin desarrollo
		Del lado del copiloto	Sin desarrollo
	Tipo de área	Rural / área abierta	
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera inspeccionada	Infraestructura a desnivel	
	Calidad de cruce peatonal	Adecuado	
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera secundaria	Sin infraestructura	
	Cerca para contener peatones	Ausente	
	Banqueta	Del lado del conductor	Ninguno
		Del lado del copiloto	Ninguno
	Infraestructura para motocicletas	Ninguno	
	Infraestructura para bicicletas	Ninguno	
	Señal de Cuidado, zona escolar	No aplica (ho hay escuela en el lugar)	
	Guardia de cruce en zona escolar	No aplica (ho hay escuela en el lugar)	

Eligiendo las características indicadas en las tablas anteriores para la obtención de la clasificación por estrellas, el simulador arroja los resultados que se presentan en la Figura 3.4, donde se puede observar que el caso analizado es evaluado con sólo 1 estrella para todos los usuarios (ocupantes de vehículos, motociclistas, peatones y ciclistas).



**Figura 3.4. Calificación y clasificación por estrellas cuerpo A**

Analizando ahora el cuerpo B de este caso de estudio, se determinaron las características de cada atributo ingresado en el simulador ViDA, de acuerdo con la información presentada de la Tabla 3.9 a la Tabla 3.14.

**Tabla 3.9. Selección de atributos en relación al “costado de la vía”, cuerpo B**

Costado de la vía	Severidad lateral	Distancia al objeto-lado conductor	1 a < 5 m
		Objeto-lado conductor	Árbol ≥ 10 cm
		Distancia al objeto-lado copiloto	1 a <5m
		Objeto-lado copiloto	Inicio de barrera de seguridad con terminal no protegida
	Banda de alerta en el acotamiento	Ausente	
	Acotamiento	Lado del conductor	Estrecho ≥ 0 a 1.0m
Lado del copiloto		Estrecho ≥ 0 a 1.0m	

**Tabla 3.10. Selección de atributos sobre “características de la vía”, cuerpo B**

Características de la vía	Etiqueta de calzada	Cuerpo B de una carretera de cuerpos separado
	Costo de modernización	Alto
	Tipo de separador central	Faja separadora central física de ancho $\geq 20m$
	Banda de alerta en el centro de la carretera	Ausente
	Número de carriles	Tres
	Ancho de carril	Ancho $\geq 3.25m$
	Curvatura	Cerrada
	Calidad de la curva	Deficiente
	Pendiente	$\geq 0\%$ y $<7.5\%$
	Condición del camino	Regular
	Resistencia al deslizamiento	Pavimentada - regular
	Señalamiento	Deficiente
	Alumbrado público	Ausente
	Estacionamiento para ocupantes de vehículos	Ninguno
	Calle de servicio	Ausente
Obras	Obra mayor en proceso	
Distancia de visibilidad	Adecuado	

**Tabla 3.11. Selección de atributos sobre las “intersecciones”, cuerpo B**

Intersecciones	Tipo de intersección	Carril de incorporación
	Canalización de la intersección	Presente
	Volumen de la carretera intersectada	1 - 100
	Calidad de la intersección	Deficiente
	Puntos de acceso a propiedad	1 o 2 accesos residenciales

**Tabla 3.12. Selección de atributos en relación al “flujo”, cuerpo B**

Flujo	Flujo vehicular (TDPA)	26,000	
	% motocicletas	1% - 5%	
	Flujo peatonal en hora pico a lo largo de la carretera	Cruzando la carretera	0
		Del lado del conductor	0
		Del lado del copiloto	1 a 5
Flujo de bicicletas en hora pico	1 a 5		

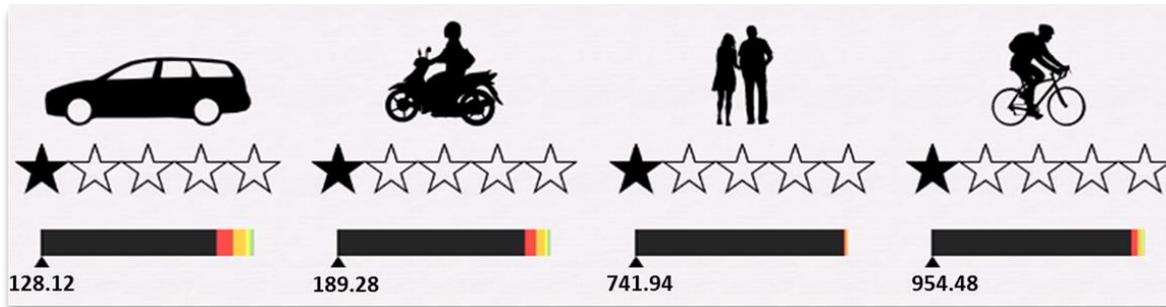
**Tabla 3.13. Selección de atributos en relación a las “velocidades”, cuerpo B**

Velocidades	Límite de velocidad	80km/h
	Límites de velocidad diferenciales	Ausente
	Infraestructura para disminuir velocidad (topes, reductores de velocidad, rayas logarítmicas, etc.)	Ausente
	Velocidad de operación (85 percentil)	95km/h

**Tabla 3.14. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo”, cuerpo B**

Infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo	Uso de suelo	Del lado del conductor	Sin desarrollo
		Del lado del copiloto	Sin desarrollo
	Tipo de área	Rural / área abierta	
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera inspeccionada	Infraestructura a desnivel	
	Calidad de cruce peatonal	Adecuado	
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera secundaria	Sin infraestructura	
	Cerca para contener peatones	Ausente	
	Banqueta	Del lado del conductor	Ninguno
		Del lado del copiloto	Ninguno
	Infraestructura para motocicletas	Ninguno	
	Infraestructura para bicicletas	Ninguno	
	Señal de Cuidado, zona escolar	No aplica (ho hay escuela en el lugar)	
	Guardia de cruce en zona escolar	No aplica (ho hay escuela en el lugar)	

De manera similar, se obtuvieron las clasificaciones por estrellas para cada usuario del cuerpo B del tramo bajo estudio. Los resultados de esa evaluación se presentan en la Figura 3.5.



**Figura 3.5. Calificación y clasificación por estrellas cuerpo B**

En general las condiciones de seguridad del cuerpo A y cuerpo B son muy similares. De acuerdo con los resultados obtenidos del simulador ViDA, el tramo bajo análisis presenta características con serios problemas de seguridad para todos los usuarios de la vía en ambos cuerpos.

Analizando qué factores contribuyen en mayor medida a esta calificación, se identificó que las características respecto a la severidad lateral (tanto del lado del conductor como del copiloto), demeritan considerablemente la seguridad en ambos cuerpos de este tramo. Sin embargo, aun mejorando este atributo, mediante la instalación de barreras de seguridad sin terminales peligrosas, la carretera permanece dentro de la misma clasificación por estrellas (1 estrella). Para lograr que el tramo analizado mejore sus condiciones de seguridad hasta obtener una categoría de 3 estrellas al menos para los usuarios ocupantes de vehículos, sería necesario mejorar las características del pavimento y de la señalización, así como reducir la velocidad de operación.

Cabe aclarar que las condiciones del pavimento para este ejemplo se consideraron como “regulares” a partir de los deterioros y huellas de frenado observadas en las imágenes consultadas. Por otro lado, la velocidad de operación se asignó a partir de un estudio hecho por investigadores del IMT en 2017, donde se obtuvo una velocidad de operación de 95 km/h para el cuerpo A y B de este tramo, a partir del 85 percentil de una muestra estadísticamente representativa de velocidades de punto.

### 3.2.2 Libramiento Noreste Querétaro

El Libramiento Noreste de Querétaro forma parte del corredor troncal México-Nuevo Laredo, siendo la opción de cuota para librar el paso por la ciudad de Querétaro. Pertenece a la ruta MEX 057D, en específico, esta carretera es tipo ET4 [DOF, 2015]. De acuerdo con la información contenida en la página web [proyectosmexico.gob.mx](http://proyectosmexico.gob.mx), fue concesionada para su operación, mantenimiento, conservación y explotación al Fondo Nacional de Infraestructura (con vigencia del contrato al 6 de julio del 2051).

El Libramiento Noreste de Querétaro tiene una longitud de 37.5 km y de acuerdo con [DGST, 2019] durante el 2018 tuvo un TDPA de alrededor de 18 mil vehículos.

Esta carretera se analizó en su longitud total, del kilómetro 0+000 al 37+500. Sin embargo, para fines del análisis, se dividió en dos tramos debido a que su sección transversal cambia, pasando de ser una carretera de cuerpos separados por una franja de aproximadamente 10 m a una carretera de un solo cuerpo con barrera central rígida para separar los sentidos de circulación. Esta diferencia en su sección transversal hace que las condiciones de seguridad en su operación sean diferentes. El tramo 1 comprende del kilómetro 0+000 al 8+370 (tramo de cuerpos separados) y el tramo 2 del 8+370 al 37+500 (tramo de un solo cuerpo). En la Figura 3.6 se presenta una vista satelital de la carretera, indicando los dos tramos en los que fue dividida para su análisis.



**Figura 3.6. Vista satelital km 0+000 al 37+500 del Libramiento Noreste Querétaro**

En cuanto al análisis por sentido de circulación, dado que las características generales tanto del tramo 1 como del tramo 2 son semejantes en un sentido y otro, no se hará un análisis independiente, sino que se tomarán las características más representativas de los atributos de cada tramo para su selección en el simulador ViDA, en conjunto para ambos sentidos.

El Libramiento Noreste Querétaro tiene una estructura de pavimento rígido. Durante el 2018 (información más actual disponible de Datos Viales), en el tramo 1 circularon en promedio 9,159 vehículos diarios en cada sentido, con una participación del 47.2% de vehículos destinados al transporte de carga (camiones unitarios y articulados); de manera similar, en el tramo 2 circuló un promedio de 8,875

vehículos diarios en cada sentido, con una participación del 55.8% de vehículos de carga.

### **Tramo 1: km 0+000 a 8+370**

El primer tramo de la carretera bajo estudio se compone de una sección transversal de 2 carriles por sentido de circulación con cuerpos separados por una franja separadora de aproximadamente 10 m. En las Figura 3.7 y Figura 3.8 se presentan vistas características de la sección transversal de este tramo en ambas direcciones, tomadas a partir de la información más reciente disponible en Google Maps.



**Figura 3.7.** Imagen de sección transversal del cuerpo A, tramo 1 (junio 2019)



**Figura 3.8.** Imagen de sección transversal del cuerpo B, tramo 1 (mayo 2019)

Al igual que en el caso anterior, para la elección de las características de los atributos a ingresar en el simulador ViDA, se seleccionaron aquellas más representativas del tramo a través de un recorrido con la herramienta *Google Street View*. De la Tabla 3.15 a la Tabla 3.20 se presentan las opciones seleccionadas para el análisis conjunto del cuerpo A y B del tramo 1.

**Tabla 3.15. Selección de atributos en relación al “costado de la vía”, tramo 1**

Costado de la vía	Severidad lateral	Distancia al objeto-lado conductor	1 a < 5 m
		Objeto-lado conductor	Árbol $\geq$ 10 cm
		Distancia al objeto-lado copiloto	$\geq$ 10 m
		Objeto-lado copiloto	Ninguno
	Banda de alerta en el acotamiento		Presente
	Acotamiento	Lado del conductor	Estrecho $\geq$ 0 a 1.0m
Lado del copiloto		Medio $\geq$ 1.0 a 2.4m	

**Tabla 3.16. Selección de atributos sobre “características de la vía”, tramo 1**

Características de la vía	Etiqueta de calzada	Cuerpo A de una carretera de cuerpos separados
	Costo de modernización	Bajo
	Tipo de separador central	Faja separadora central física de ancho $\geq$ 5m y <10m
	Banda de alerta en el centro de la carretera	Ausente
	Número de carriles	Dos
	Ancho de carril	Ancho $\geq$ 3.25m
	Curvatura	Recta o ligeramente curvo
	Calidad de la curva	No aplica
	Pendiente	$\geq$ 0% y <7.5%
	Condición del camino	Bueno
	Resistencia al deslizamiento	Pavimentada - adecuado
	Señalamiento	Adecuado
	Alumbrado público	Ausente
	Estacionamiento para ocupantes de vehículos	Ninguno
	Calle de servicio	Ausente
Obras	Sin obras	
Distancia de visibilidad	Adecuado	

**Tabla 3.17. Selección de atributos sobre las “intersecciones”, tramo 1**

Intersecciones	Tipo de intersección	Ninguno
	Canalización de la intersección	Ausente
	Volumen de la carretera intersectada	Ninguno
	Calidad de la intersección	No aplica
	Puntos de acceso a propiedad	Ninguno

**Tabla 3.18. Selección de atributos en relación al “flujo”, tramo 1**

Flujo	Flujo vehicular (TDPA)	9,158	
	% motocicletas	1% - 5%	
	Flujo peatonal en hora pico a lo largo de la carretera	Cruzando la carretera	0
		Del lado del conductor	0
		Del lado del copiloto	0
Flujo de bicicletas en hora pico	0		

**Tabla 3.19. Selección de atributos en relación a las “velocidades”, tramo 1**

Velocidades	Límite de velocidad	110 km/h
	Límites de velocidad diferenciales	Ausente
	Infraestructura para disminuir velocidad (topes, reductores de velocidad, rayas logarítmicas, etc.)	Ausente
	Velocidad de operación (85 percentil)	120 km/h

**Tabla 3.20. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo”, tramo 1**

Infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo	Uso de suelo	Del lado del conductor	Sin desarrollo
		Del lado del copiloto	Sin desarrollo
	Tipo de área	Rural / área abierta	
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera inspeccionada	Sin infraestructura	
	Calidad de cruce peatonal	No aplica	
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera secundaria	Sin infraestructura	
	Cerca para contener peatones	Ausente	
	Banqueta	Del lado del conductor	Ninguno
		Del lado del copiloto	Ninguno
	Infraestructura para motocicletas	Ninguno	
	Infraestructura para bicicletas	Ninguno	
	Señal de Cuidado, zona escolar	No aplica (ho hay escuela en el lugar)	
	Guardia de cruce en zona escolar	No aplica (ho hay escuela en el lugar)	

Eligiendo las características indicadas en las tablas anteriores para la obtención de la clasificación por estrellas, el simulador arroja los resultados que se presentan en la Figura 3.9, donde se puede observar que el caso analizado es evaluado con 3 estrellas para los usuarios “ocupantes de vehículos” y 2 estrellas para los usuarios “motociclistas”. En el caso de los “peatones” y “ciclistas”, éstos no fueron evaluados ya que no se encontró evidencia de que el tramo sea utilizado por este tipo de usuarios.



**Figura 3.9. Calificación y clasificación por estrellas tramo 1**

En este tramo se encontraron algunos riesgos puntuales que impactan en la seguridad, y consecuentemente en la clasificación por estrellas, como árboles en la franja separadora central con troncos de diámetro superior a 10 cm, pilas de puentes (para pasos superiores vehiculares) cercanas a la calzada vehicular, obras de drenaje sin protección, terminales de barrera metálica dañadas, restos de escombros de concreto al costado de la vía y algunos accesos irregulares. En carreteras con secciones transversales como la que presenta este primer tramo del Libramiento Noreste Querétaro se presenta una problemática de seguridad específica, relacionada con la caída de vehículos en la faja separadora central, lo cual podría atenuarse colocando acotamientos internos más amplios con alertadores de salida o vibradores de banda.

**Tramo 2: km 8+370 a km 37+500**

El segundo tramo bajo estudio se compone de una sección transversal de 4 carriles (2 por sentido de circulación), separando el flujo de ambos sentidos mediante una barrera de concreto rígida. En las Figura 3.10 y Figura 3.11 se presentan vistas características de la sección transversal de este tramo en ambas direcciones, tomadas a partir de la información más reciente disponible en Google Maps.



**Figura 3.10. Imagen de sección transversal, sentido 1, tramo 2 (junio 2019)**



**Figura 3.11. Imagen de sección transversal, sentido 2, tramo 2 (mayo 2019)**

La elección de las características de los atributos a ingresar en el simulador de ViDA para el análisis conjunto del sentido 1 y 2 en este segundo tramo se presentan de la Tabla 3.21 a la Tabla 3.26.

**Tabla 3.21. Selección de atributos en relación al “costado de la vía”, tramo 2**

Costado de la vía	Severidad lateral	Distancia al objeto-lado conductor	0 a < 1 m
		Objeto-lado conductor	Barrera de seguridad - Concreto
		Distancia al objeto-lado copiloto	1 a < 5 m
		Objeto-lado copiloto	Cara vertical agresiva
	Banda de alerta en el acotamiento		Presente
	Acotamiento	Lado del conductor	Estrecho $\geq 0$ a 1.0m
Lado del copiloto		Medio $\geq 1.0$ a 2.4m	

**Tabla 3.22. Selección de atributos sobre “características de la vía”, tramo 2**

Características de la vía	Etiqueta de calzada	Cuerpo A de una carretera de cuerpos separados
	Costo de modernización	Bajo
	Tipo de separador central	Barrera de seguridad - Concreto
	Banda de alerta en el centro de la carretera	Ausente
	Número de carriles	Dos
	Ancho de carril	Ancho $\geq 3.25$ m
	Curvatura	Recta o ligeramente curvo
	Calidad de la curva	No aplica
	Pendiente	$\geq 0\%$ y $< 7.5\%$
	Condición del camino	Bueno
	Resistencia al deslizamiento	Pavimentada - adecuado
	Señalamiento	Adecuado
	Alumbrado público	Ausente
	Estacionamiento para ocupantes de vehículos	Ninguno
Calle de servicio	Ausente	
Obras	Sin obras	
Distancia de visibilidad	Adecuado	

**Tabla 3.23. Selección de atributos sobre las “intersecciones”, tramo 2**

Intersecciones	Tipo de intersección	Carril de incorporación
	Canalización de la intersección	Ausente
	Volumen de la carretera intersectada	100 - 1,000
	Calidad de la intersección	Deficiente
	Puntos de acceso a propiedad	Ninguno

**Tabla 3.24. Selección de atributos en relación al “flujo”, tramo 2**

Flujo	Flujo vehicular (TDPA)	8,875	
	% motocicletas	1% - 5%	
	Flujo peatonal en hora pico a lo largo de la carretera	Cruzando la carretera	0
		Del lado del conductor	0
	Del lado del copiloto	0	
Flujo de bicicletas en hora pico	0		

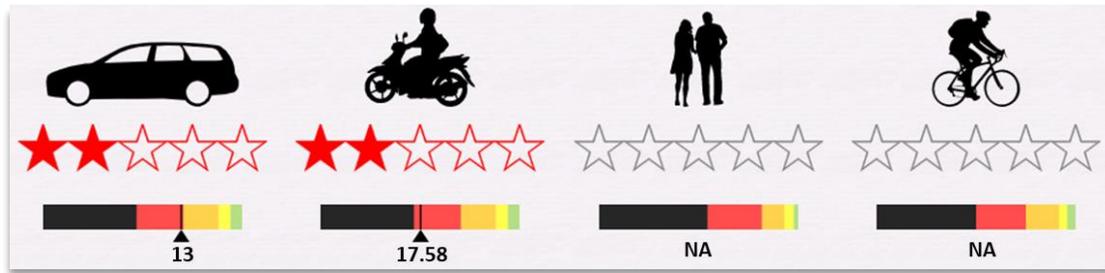
**Tabla 3.25. Selección de atributos en relación a las “velocidades”, tramo 2**

Velocidades	Límite de velocidad	110 km/h
	Límites de velocidad diferenciales	Ausente
	Infraestructura para disminuir velocidad (topes, reductores de velocidad, rayas logarítmicas, etc.)	Ausente
	Velocidad de operación (85 percentil)	120 km/h

**Tabla 3.26. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo”, tramo 2**

Infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo	Uso de suelo	Del lado del conductor	Sin desarrollo
		Del lado del copiloto	Sin desarrollo
	Tipo de área		Rural / área abierta
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera inspeccionada		Sin infraestructura
	Calidad de cruce peatonal		No aplica
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera secundaria		Sin infraestructura
	Cerca para contener peatones		Ausente
	Banqueta	Del lado del conductor	Ninguno
		Del lado del copiloto	Ninguno
	Infraestructura para motocicletas		Ninguno
	Infraestructura para bicicletas		Ninguno
	Señal de Cuidado, zona escolar		No aplica (ho hay escuela en el lugar)
	Guardia de cruce en zona escolar		No aplica (ho hay escuela en el lugar)

De esta manera, se obtuvieron las clasificaciones por estrellas para cada usuario del tramo 2. Los resultados de esta evaluación se presentan en la Figura 3.12, donde se puede observar que el caso analizado es evaluado con 2 estrellas para los usuarios “ocupantes de vehículos” y “motociclistas”. Los “ciclistas” y “peatones” no fueron evaluados ya que no se encontró evidencia de que el tramo sea utilizado por este tipo de usuarios.



**Figura 3.12. Clasificación y clasificación por estrellas, tramo 2**

En este tramo se detectaron varios riesgos puntuales en las zonas laterales, entre los que destacan: pilas de puente, obras de drenaje abiertos, escombros de barreras de concreto, postes de señales elevadas, árboles con diámetros superiores a 10 cm, terminales de barrera metálica dañadas, cunetas y cortes peligrosos ante una posible salida de la calzada vehicular y accesos irregulares.

De acuerdo con los resultados obtenidos del simulador ViDA, el Libramiento Noreste de Querétaro presenta características que sitúan su clasificación general para los usuarios ocupantes de vehículos en la frontera entre la clasificación de 2 y 3 estrellas. Se tiene un amplio potencial de mejora para esta vía si se corrigen los riesgos que más impactan en su clasificación de acuerdo con la metodología iRAP, como el retiro o protección de objetos peligrosos al costado de la vía. Adicionalmente, se recomienda mejorar la seguridad en la operación (entradas y salidas) del parador ubicado en el km 19+300 y las incorporaciones y salidas en el km 20+320 donde se encuentra la caseta de cobro, así como tomar en cuenta las rectas prolongadas que se tienen en el alineamiento horizontal de este Libramiento, para evitar colisiones relacionadas con la fatiga y somnolencia de los conductores.

Cabe aclarar que la velocidad de operación se asignó a partir de la registrada en el proyecto iRAP México 2015, durante el cual se levantó esta vialidad. De este modo, el valor de la velocidad de operación se consideró de 120 km/h que, aunque dentro del umbral de velocidades para este tipo de vías, se considera discreta. Para un análisis detallado se recomienda llevar a cabo un estudio de velocidades a través de una muestra estadísticamente representativa de velocidades de punto, para poder calcular el valor de la velocidad de operación actual.

### 3.2.3 Libramiento Oriente de San Luis Potosí

El Libramiento Oriente de San Luis Potosí forma parte del corredor troncal México-Nuevo Laredo, siendo la opción de cuota para librar el paso por la ciudad de San Luis Potosí. Pertenece a la ruta MEX 057D, en específico, esta carretera es tipo ET4 [DOF, 2015]. De acuerdo con la información contenida en la página web *proyectosmexico.gob.mx*, fue concesionada para su construcción, operación, explotación, conservación y mantenimiento a una empresa privada con vigencia del contrato al 14 de octubre del 2050. El Libramiento Oriente de San Luis Potosí tiene una longitud de 33.7 km y de acuerdo con [DGST, 2019] durante el 2018 tuvo un TDPA de alrededor de 17 mil vehículos.

Esta carretera se analizó en su longitud total, del kilómetro 0+000 al 33+760. Sin embargo, para fines del análisis como en el caso anterior, se dividió en tres tramos debido a los cambios de su sección transversal, pasando de tener una faja separadora central física a una barrera de seguridad central de concreto y posteriormente a una faja separadora central nuevamente. Como se explicó en el caso anterior, esta diferencia en su sección transversal hace que las condiciones de seguridad en su operación sean diferentes. El tramo 1 comprende del kilómetro 0+000 al 12+700 (tramo de cuerpos separados), el tramo 2 del 12+700 al 31+540 (tramo de un solo cuerpo) y finalmente el tramo 3 del 31+540 al 33+760 (tramo de cuerpos separados). En la Figura 3.13 se presenta una vista satelital de la carretera, indicando los tres tramos en los que fue dividida para su análisis.

En cuanto al análisis por sentido de circulación, al igual que en el caso anterior las características generales de esta carretera son semejantes en un sentido y otro, para cada uno de los 3 tramos respectivamente, por lo cual no se hará un análisis independiente, sino que se tomarán las características más representativas de los atributos de cada tramo para su selección en el simulador ViDA, en conjunto para ambos sentidos.

El Libramiento Oriente de San Luis Potosí tiene una estructura de pavimento flexible. Durante el 2018 (información más actual disponible de Datos Viales), en el tramo 1 y 2 circularon en promedio 8,869 vehículos diarios en cada sentido, con una participación promedio de 65% de vehículos destinados al transporte de carga (camiones unitarios y articulados). Por su parte, en el tramo 3 circuló un promedio de 8,376 vehículos diarios en cada sentido, con una participación promedio de 60% de vehículos de carga.

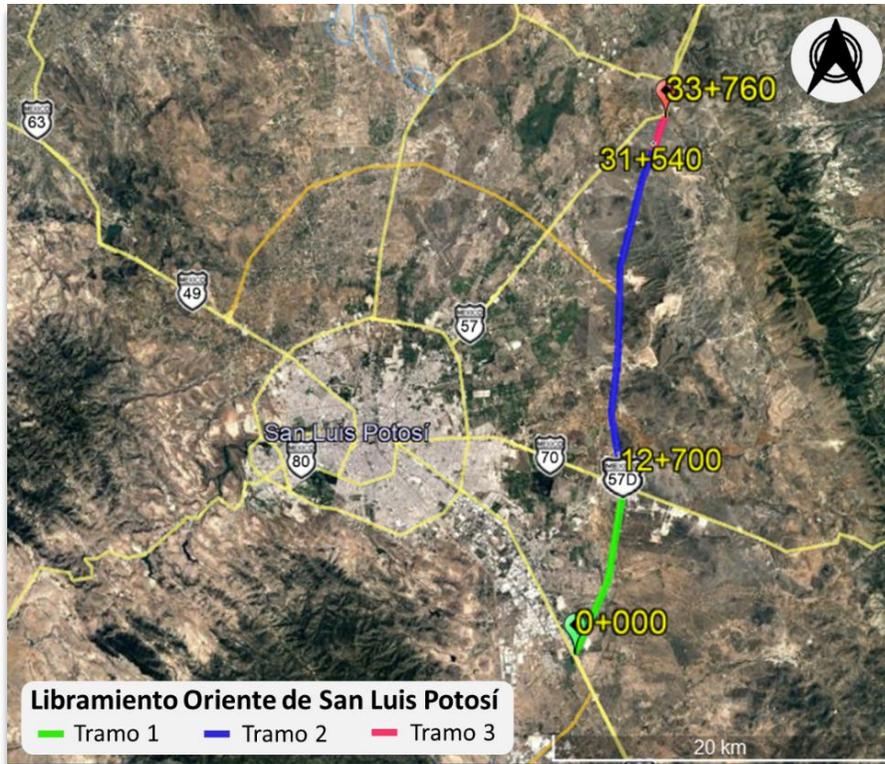


Figura 3.13. Vista satelital km 0+000 al 33+760 del Libramiento Oriente de San Luis Potosí

### Tramo 1: km 0+000 a 12+700

El primer tramo de la carretera bajo estudio se compone de una sección transversal de 2 carriles por sentido de circulación con cuerpos separados por una franja separadora de aproximadamente 10 m. En las Figura 3.14 y Figura 3.15 se presentan vistas características de la sección transversal de este tramo en ambas direcciones, tomadas a partir de la información más reciente disponible en Google Maps.



Figura 3.14. Imagen de sección transversal del cuerpo A, tramo 1 (mayo 2019)



Figura 3.15. Imagen de sección transversal del cuerpo B, tramo 1 (mayo 2019)

Al igual que en el caso anterior, para la elección de las características de los atributos a ingresar en el simulador ViDA se seleccionaron aquellas más representativas del tramo a través de un recorrido con la herramienta *Google Street View*. De la Tabla 3.27 a la Tabla 3.32 se presentan las opciones seleccionadas para el análisis conjunto del cuerpo A y B del tramo 1.

Tabla 3.27. Selección de atributos en relación al “costado de la vía”, tramo 1

Costado de la vía	Severidad lateral	Distancia al objeto-lado conductor	0 a < 1 m
		Objeto-lado conductor	Inicio de barrera de seguridad con terminal no protegida
		Distancia al objeto-lado copiloto	1 a < 5 m
		Objeto-lado copiloto	Inicio de barrera de seguridad con terminal no protegida
	Banda de alerta en el acotamiento		Presente
	Acotamiento	Lado del conductor	Estrecho $\geq 0$ a 1.0m
Lado del copiloto		Medio $\geq 1.0$ a 2.4m	

Tabla 3.28. Selección de atributos sobre “características de la vía”, tramo 1

Características de la vía	Etiqueta de calzada	Cuerpo A de una carretera de cuerpos separados
	Costo de modernización	Bajo
	Tipo de separador central	Faja separadora central física de ancho $\geq 10$ m y <20m
	Banda de alerta en el centro de la carretera	Presente
	Número de carriles	Dos
	Ancho de carril	Ancho $\geq 3.25$ m
	Curvatura	Recta o ligeramente curvo
	Calidad de la curva	No aplica
	Pendiente	$\geq 0\%$ y <7.5%
	Condición del camino	Bueno
	Resistencia al deslizamiento	Pavimentada - adecuado
	Señalamiento	Adecuado
	Alumbrado público	Ausente
	Estacionamiento para ocupantes de vehículos	Ninguno
Calle de servicio	Ausente	
Obras	Sin obras	
Distancia de visibilidad	Adecuado	

**Tabla 3.29. Selección de atributos sobre las “intersecciones”, tramo 1**

Intersecciones	Tipo de intersección	Carril de incorporación
	Canalización de la intersección	Presente
	Volumen de la carretera intersectada	100 - 1,000
	Calidad de la intersección	Adecuada
	Puntos de acceso a propiedad	Ninguno

**Tabla 3.30. Selección de atributos en relación al “flujo”, tramo 1**

Flujo	Flujo vehicular (TDPA)	8,869	
	% motocicletas	1% - 5%	
	Flujo peatonal en hora pico a lo largo de la carretera	Cruzando la carretera	0
		Del lado del conductor	0
	Del lado del copiloto	1 a 5	
Flujo de bicicletas en hora pico	0		

**Tabla 3.31. Selección de atributos en relación a las “velocidades”, tramo 1**

Velocidades	Límite de velocidad	110 km/h
	Límites de velocidad diferenciales	Ausente
	Infraestructura para disminuir velocidad (topes, reductores de velocidad, rayas logarítmicas, etc.)	Presente
	Velocidad de operación (85 percentil)	120 km/h

**Tabla 3.32. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo”, tramo 1**

Infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo	Uso de suelo	Del lado del conductor	Sin desarrollo
		Del lado del copiloto	Sin desarrollo
	Tipo de área	Rural / área abierta	
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera inspeccionada	Sin infraestructura	
	Calidad de cruce peatonal	No aplica	
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera secundaria	Sin infraestructura	
	Cerca para contener peatones	Ausente	
	Banqueta	Del lado del conductor	Ninguno
		Del lado del copiloto	Ninguno
	Infraestructura para motocicletas	Ninguno	
	Infraestructura para bicicletas	Ninguno	
	Señal de Cuidado, zona escolar	No aplica (ho hay escuela en el lugar)	
	Guardia de cruce en zona escolar	No aplica (ho hay escuela en el lugar)	

Eligiendo las características indicadas en las tablas anteriores para la obtención de la clasificación por estrellas, el simulador arroja los resultados que se presentan en la Figura 3.16, donde se puede observar que el caso analizado es evaluado con 1 estrella para los usuarios “ocupantes de vehículos”, “motociclistas” y “peatones”. En el caso de los “ciclistas”, éstos no fueron evaluados ya que no se encontró evidencia de que el tramo sea utilizado por este tipo de usuarios.



**Figura 3.16. Clasificación y clasificación por estrellas, tramo 1**

En este primer tramo se encontraron algunos riesgos puntuales que impactan en la seguridad, y consecuentemente en la clasificación por estrellas, como terminales peligrosas de barrera metálica denominadas “cola de pato” y obras de drenaje abiertas. Asimismo, se encontraron algunos accesos irregulares, peatones circulando en el acotamiento externo, postes de luminarias en la franja separadora central en las cercanías con la caseta de peaje (los cuales representan un riesgo ante una posible colisión frontal con ellos), pequeños segmentos de barrera metálica con terminales tipo “cola de pato” protegiendo postes de alta tensión (los cuales pueden representar un mayor riesgo que la ausencia de los mismos), algunas zonas sin alertadores de salida internos (en tramos con rectas prolongadas estos dispositivos son de gran ayuda para alertar y evitar posibles salidas de la calzada vehicular por distracción o cansancio de los conductores) y, finalmente, se observó una lectura de 165 km/h en una señal de mensaje cambiante sincronizada a un radar de velocidad.

### **Tramo 2: km 12+700 a km 31+540**

El segundo tramo bajo estudio se compone de una sección transversal de 4 carriles (2 por sentido de circulación), separando el flujo de ambos sentidos mediante una barrera de concreto rígida. En las Figura 3.17 y Figura 3.18 se presentan vistas características de la sección transversal de este tramo en ambas direcciones, tomadas a partir de la información más reciente disponible en Google Maps.



**Figura 3.17. Sección transversal del sentido 1, tramo 2 (mayo 2019)**



**Figura 3.18. Sección transversal del sentido 2, tramo 2 (mayo 2019)**

La elección de las características de los atributos a ingresar en el simulador ViDA para el análisis conjunto de ambos sentidos en este segundo tramo se presentan de la Tabla 3.33 a la Tabla 3.38.

**Tabla 3.33. Selección de atributos en relación al “costado de la vía”, tramo 2**

Costado de la vía	Severidad lateral	Distancia al objeto-lado conductor	0 a < 1 m
		Objeto-lado conductor	Barrera de seguridad - Concreto
		Distancia al objeto-lado copiloto	1 a < 5 m
		Objeto-lado copiloto	Inicio de barrera de seguridad con terminal no protegida
	Banda de alerta en el acotamiento	Presente	
	Acotamiento	Lado del conductor	Estrecho $\geq 0$ a 1.0m
Lado del copiloto		Medio $\geq 1.0$ a 2.4m	

**Tabla 3.34. Selección de atributos sobre las “intersecciones”, tramo 2**

Intersecciones	Tipo de intersección	Carril de incorporación
	Canalización de la intersección	Presente
	Volumen de la carretera intersectada	100 - 1,000
	Calidad de la intersección	Adecuada
	Puntos de acceso a propiedad	Ninguno

**Tabla 3.35. Selección de atributos sobre “características de la vía”, tramo 2**

Características de la vía	Etiqueta de calzada	Cuerpo A de una carretera de cuerpos separados
	Costo de modernización	Bajo
	Tipo de separador central	Barrera de seguridad - Concreto
	Banda de alerta en el centro de la carretera	Ausente
	Número de carriles	Dos
	Ancho de carril	Ancho $\geq 3.25$ m
	Curvatura	Recta o ligeramente curvo
	Calidad de la curva	No aplica
	Pendiente	$\geq 0\%$ y $< 7.5\%$
	Condición del camino	Bueno
	Resistencia al deslizamiento	Pavimentada - adecuado
	Señalamiento	Adecuado
	Alumbrado público	Ausente
	Estacionamiento para ocupantes de vehículos	Ninguno
Calle de servicio	Ausente	
Obras	Obra menor en proceso	
Distancia de visibilidad	Adecuado	

**Tabla 3.36. Selección de atributos en relación al “flujo”, tramo 2**

Flujo	Flujo vehicular (TDPA)	8,869	
	% motocicletas	1% - 5%	
	Flujo peatonal en hora pico a lo largo de la carretera	Cruzando la carretera	0
		Del lado del conductor	0
		Del lado del copiloto	0
Flujo de bicicletas en hora pico	0		

**Tabla 3.37. Selección de atributos en relación a las “velocidades”, tramo 2**

Velocidades	Límite de velocidad	110 km/h
	Límites de velocidad diferenciales	Ausente
	Infraestructura para disminuir velocidad (topes, reductores de velocidad, rayas logarítmicas, etc.)	Ausente
	Velocidad de operación (85 percentil)	120 km/h

**Tabla 3.38. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo”, tramo 2**

Infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo	Uso de suelo	Del lado del conductor	Sin desarrollo
		Del lado del copiloto	Sin desarrollo
	Tipo de área	Rural / área abierta	
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera inspeccionada	Sin infraestructura	
	Calidad de cruce peatonal	No aplica	
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera secundaria	Sin infraestructura	
	Cerca para contener peatones	Ausente	
	Banqueta	Del lado del conductor	Ninguno
		Del lado del copiloto	Ninguno
	Infraestructura para motocicletas	Ninguno	
	Infraestructura para bicicletas	Ninguno	
	Señal de Cuidado, zona escolar	No aplica (ho hay escuela en el lugar)	
	Guardia de cruce en zona escolar	No aplica (ho hay escuela en el lugar)	

De esta manera, se obtuvieron las clasificaciones por estrellas para cada usuario del tramo 2. Los resultados de esa evaluación se presentan en la Figura 3.19, donde se puede observar que el caso analizado es evaluado con 2 estrellas para los usuarios “ocupantes de vehículos” y 1 estrella para los “motociclistas”. Los “ciclistas” y “peatones” no fueron evaluados ya que no se encontró evidencia de que el tramo sea utilizado por este tipo de usuarios.



**Figura 3.19. Calificación y clasificación por estrellas, tramo 2**

En este tramo se detectaron varios riesgos puntuales en las zonas laterales, entre los que destacan la colocación de terminales de barrera metálica “cola de pato” y cortes con caras verticales peligrosas (ante una posible salida de la calzada vehicular e impacto frontal contra éstas). Adicionalmente, se observó que gran parte de la barrera de seguridad central de concreto tiene una altura menor que la estándar para una barrera tipo “New Jersey”, se sugiere revisar en campo si la barrera cumple con el nivel de contención requerido de acuerdo con el tipo de carretera y operación (TDPA y contribución en la composición vehicular de los autobuses y transporte de carga).

### **Tramo 3: km 31+540 a km 33+760**

El tercer tramo bajo estudio, al igual que el primero, se compone de 2 carriles por sentido de circulación con cuerpos separados por una franja separadora de aproximadamente 10 m. En las Figura 3.20 y Figura 3.21 se presentan vistas características de la sección transversal de este tramo en ambas direcciones, tomadas a partir de la información más reciente disponible en Google Maps.



Figura 3.20. Imagen de sección transversal del cuerpo A, tramo 3 (mayo 2019)



Figura 3.21. Imagen de sección transversal del cuerpo B, tramo 3 (mayo 2019)

La elección de las características de los atributos a ingresar en el simulador ViDA para el análisis conjunto del cuerpo A y B de este tercer tramo se presentan de la Tabla 3.39 a la Tabla 3.44.

Tabla 3.39. Selección de atributos en relación al “costado de la vía”, tramo 3

Costado de la vía	Severidad lateral	Distancia al objeto-lado conductor	0 a < 1 m
		Objeto-lado conductor	Inicio de barrera de seguridad con terminal no protegida
		Distancia al objeto-lado copiloto	1 a < 5 m
		Objeto-lado copiloto	Inicio de barrera de seguridad con terminal no protegida
	Banda de alerta en el acotamiento		Presente
	Acotamiento	Lado del conductor	Estrecho $\geq 0$ a 1.0m
		Lado del copiloto	Medio $\geq 1.0$ a 2.4m

**Tabla 3.40. Selección de atributos sobre “características de la vía”, tramo 3**

Características de la vía	Etiqueta de calzada	Cuerpo A de una carretera de cuerpos separados
	Costo de modernización	Bajo
	Tipo de separador central	Faja separadora central física de ancho $\geq 10\text{m}$ y $< 20\text{m}$
	Banda de alerta en el centro de la carretera	Ausente
	Número de carriles	Dos
	Ancho de carril	Ancho $\geq 3.25\text{m}$
	Curvatura	Recta o ligeramente curvo
	Calidad de la curva	No aplica
	Pendiente	$\geq 0\%$ y $< 7.5\%$
	Condición del camino	Bueno
	Resistencia al deslizamiento	Pavimentada - adecuado
	Señalamiento	Adecuado
	Alumbrado público	Ausente
	Estacionamiento para ocupantes de vehículos	Ninguno
	Calle de servicio	Ausente
Obras	Sin obras	
Distancia de visibilidad	Adecuado	

**Tabla 3.41. Selección de atributos sobre las “intersecciones”, tramo 3**

Intersecciones	Tipo de intersección	Ninguno
	Canalización de la intersección	Ausente
	Volumen de la carretera intersectada	Ninguno
	Calidad de la intersección	No aplica
	Puntos de acceso a propiedad	Ninguno

**Tabla 3.42. Selección de atributos en relación al “flujo”, tramo 3**

Flujo	Flujo vehicular (TDPA)	8,376	
	% motocicletas	1% - 5%	
	Flujo peatonal en hora pico a lo largo de la carretera	Cruzando la carretera	0
		Del lado del conductor	0
	Del lado del copiloto	0	
Flujo de bicicletas en hora pico	0		

**Tabla 3.43. Selección de atributos en relación a las “velocidades”, tramo 3**

Velocidades	Límite de velocidad	110 km/h
	Límites de velocidad diferenciales	Ausente
	Infraestructura para disminuir velocidad (topes, reductores de velocidad, rayas logarítmicas, etc.)	Ausente
	Velocidad de operación (85 percentil)	120 km/h

**Tabla 3.44. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo”, tramo 3**

Infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo	Uso de suelo	Del lado del conductor	Sin desarrollo
		Del lado del copiloto	Sin desarrollo
	Tipo de área	Rural / área abierta	
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera inspeccionada	Sin infraestructura	
	Calidad de cruce peatonal	No aplica	
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera secundaria	Sin infraestructura	
	Cerca para contener peatones	Ausente	
	Banqueta	Del lado del conductor	Ninguno
		Del lado del copiloto	Ninguno
	Infraestructura para motocicletas	Ninguno	
	Infraestructura para bicicletas	Ninguno	
Señal de Cuidado, zona escolar	No aplica (ho hay escuela en el lugar)		
Guardia de cruce en zona escolar	No aplica (ho hay escuela en el lugar)		

De esta manera, se obtuvieron las clasificaciones por estrellas para cada usuario del tramo 3. Los resultados de esa evaluación se presentan en la Figura 3.22, donde se puede observar que el caso analizado es evaluado con 1 estrella para los usuarios “ocupantes de vehículos” y “motociclistas”. Los “ciclistas” y “peatones” no fueron evaluados ya que no se encontró evidencia de que el tramo sea utilizado por este tipo de usuarios.



Figura 3.22. Clasificación y clasificación por estrellas, tramo 3

En este tramo se detectaron varios riesgos puntuales ante un posible choque frontal con ellos, entre los que destacan: árboles con diámetro superior a 10 cm en la faja separadora central, obras de drenaje abiertas y terminales de barrera metálica “cola de pato”.

De acuerdo con los resultados obtenidos del simulador ViDA, el Libramiento Oriente de San Luis Potosí presenta características que reducen significativamente su clasificación por estrellas, en especial en el tramo 1 y 2 debido a la severidad lateral por la presencia de inicios de barrera de seguridad con terminal no protegida muy próximos al carril de circulación izquierdo. Si se llegasen a corregir los riesgos respecto a la severidad lateral de ambos lados en toda la longitud del Libramiento, se lograría llegar a una clasificación de al menos 3 estrellas para los usuarios ocupantes de vehículos. Asimismo, deberá prestarse atención en las zonas donde cambia el tipo de separador central (de franja separadora central física a una barrera de seguridad de concreto), pues podrían presentarse colisiones frontales con el inicio de la barrera de concreto. Estas reducciones de la exposición al riesgo hacia los usuarios tendrían que ir acompañadas de mecanismos que logren controlar las velocidades de operación dentro de un rango “seguro”, no mayor al límite de velocidad establecido.

Cabe aclarar que al igual que en el caso anterior, la velocidad de operación se asignó a partir de la registrada en el proyecto iRAP México 2015. De este modo, el valor de la velocidad de operación se consideró de 120 km/h que, aunque dentro del umbral de velocidades usuales para este tipo de vías, se considera discreta. Para un análisis detallado se recomienda llevar a cabo un estudio de velocidades a través de una muestra estadísticamente representativa de velocidades de punto, con el fin de calcular el valor de la velocidad de operación actual.

### 3.2.4 Libramiento Norte de la Ciudad de México

El Libramiento Norte de la Ciudad de México forma parte del corredor troncal Altiplano, siendo la opción de cuota para rodear la zona metropolitana de la Ciudad de México. Es una importante vialidad que conecta los corredores que van hacia las ciudades fronterizas de Nogales, Nuevo Laredo y Ciudad Juárez con los corredores que van hacia Veracruz, Puebla, Oaxaca y Chiapas. La nomenclatura de su ruta es MEX 040D y, en específico, esta carretera es tipo ET4 [DOF, 2015]. De acuerdo con la información contenida en la página web *proyectosmexico.gob.mx*, fue concesionada para su construcción, operación, mantenimiento, conservación y explotación a una empresa privada con vigencia del contrato al 20 de diciembre del 2065.

El Libramiento Norte de la Ciudad de México tiene una longitud de 223 km y de acuerdo con [DGST, 2019] durante el 2018 su TDPA fluctuó entre 6,998 y 18,978 (en la X. C. Toluca-Palmillas y en la X. C. San Martín Texmelucan-Tlaxcala-El Molinito respectivamente), teniendo en promedio en su longitud total un TDPA de alrededor de 15 mil vehículos.

Al ser una carretera larga, con características que varían en su longitud, para este caso de estudio se seleccionó sólo un tramo con características semejantes respecto a su trazo y entorno, el cual comprende del kilómetro 54+000 al 79+000. El tramo bajo estudio cuenta con una sección transversal de 4 carriles (2 por sentido de circulación), dividido por una barrera de seguridad de concreto. En la Figura 3.23 se muestra una vista satelital.



Figura 3.23. Vista satelital km 54 al 79 del Libramiento Norte de la Ciudad de México

En este tramo el Libramiento Norte de la Ciudad de México tiene una estructura de pavimento flexible; durante el 2018 (información más actual disponible de Datos

Viales), circularon en promedio 8,200 vehículos diarios en cada sentido, con una participación promedio de cerca del 40% de vehículos destinados al transporte de carga (camiones unitarios y articulados).

Las características generales y riesgos desde la perspectiva de la seguridad vial en el tramo bajo estudio son muy similares en un sentido y otro, por lo cual el análisis se realizará conjuntamente para ambos sentidos de circulación. Por otro lado, durante el recorrido con la herramienta *Google Street View* se observó que los riesgos laterales varían considerablemente, por lo cual, en este caso en particular más que un análisis por tramos o sentidos de circulación se realizará un análisis de sensibilidad variando los riesgos laterales existentes en el margen derecho de la vía (lado del copiloto).

De la Figura 3.24 a la Figura 3.27 se presentan algunas imágenes con vistas características de la sección transversal del tramo estudiado en ambas direcciones, tomadas a partir de la información más reciente disponible en Google Maps.



**Figura 3.24. Imagen de sección transversal, sentido 1 (junio 2019)**



**Figura 3.25. Imagen de sección transversal, sentido 1 (junio 2019)**



Figura 3.26. Imagen de sección transversal, sentido 2 (agosto 2019)



Figura 3.27. Imagen de sección transversal, sentido 2 (agosto 2019)

Para elegir las características de los atributos a ingresar en el simulador ViDA en este caso de estudio, se seleccionaron aquellas más representativas del tramo a través de un recorrido con la herramienta *Google Street View*. Adicionalmente, como se mencionó en párrafos anteriores, debido a la naturaleza de los diferentes riesgos laterales encontrados en el margen derecho de este tramo del Libramiento Norte de la Ciudad de México (atributo identificado en el simulador ViDA como “severidad lateral, objeto – lado copiloto”), y su consecuente impacto en la clasificación por estrellas, en este caso en particular se realizará un análisis variando este atributo a los más comúnmente encontrados a lo largo de los 25 kilómetros analizados.

De este modo, de la Tabla 3.45 a la Tabla 3.50 se presentan las opciones seleccionadas para cada atributo a ingresar en el simulador ViDA para el análisis conjunto de ambos sentidos de circulación. Cabe recordar que para el análisis de sensibilidad que se ha mencionado se estará variando el atributo en relación al “costado de la vía”, “severidad lateral, objeto-lado copiloto”, mismo que se sombrea en color magenta en la Tabla 3.45.

**Tabla 3.45. Selección de atributos en relación al “costado de la vía”**

Costado de la vía	Severidad lateral	Distancia al objeto-lado conductor	0 a < 1 m
		Objeto-lado conductor	Barrera de seguridad - Concreto
		Distancia al objeto-lado copiloto	1 a < 5 m
		Objeto-lado copiloto	<b>Barrera de seguridad - Metal</b>
	Banda de alerta en el acotamiento	Ausente	
	Acotamiento	Lado del conductor	Estrecho $\geq 0$ a 1.0m
Lado del copiloto		Medio $\geq 1.0$ a 2.4m	

**Tabla 3.46. Selección de atributos sobre las “intersecciones”**

Intersecciones	Tipo de intersección	Carril de incorporación
	Canalización de la intersección	Presente
	Volumen de la carretera intersectada	100 - 1,000
	Calidad de la intersección	Adecuada
	Puntos de acceso a propiedad	Ninguno

**Tabla 3.47. Selección de atributos sobre “características de la vía”**

Características de la vía	Etiqueta de calzada	Cuerpo A de una carretera de cuerpos separados
	Costo de modernización	Medio
	Tipo de separador central	Barrera de seguridad - Concreto
	Banda de alerta en el centro de la carretera	Ausente
	Número de carriles	Dos
	Ancho de carril	Ancho $\geq 3.25$ m
	Curvatura	Recta o ligeramente curvo
	Calidad de la curva	No aplica
	Pendiente	$\geq 0\%$ y $< 7.5\%$
	Condición del camino	Regular
	Resistencia al deslizamiento	Pavimentada - adecuado
	Señalamiento	Adecuado
	Alumbrado público	Ausente
	Estacionamiento para ocupantes de vehículos	Ninguno
	Calle de servicio	Ausente
Obras	Sin obras	
Distancia de visibilidad	Adecuado	

**Tabla 3.48. Selección de atributos en relación al “flujo”**

Flujo	Flujo vehicular (TDPA)	8,200	
	% motocicletas	1% - 5%	
	Flujo peatonal en hora pico a lo largo de la carretera	Cruzando la carretera	0
		Del lado del conductor	0
		Del lado del copiloto	1 a 5
Flujo de bicicletas en hora pico	0		

**Tabla 3.49. Selección de atributos en relación a las “velocidades”**

Velocidades	Límite de velocidad	90 km/h
	Límites de velocidad diferenciales	Ausente
	Infraestructura para disminuir velocidad (topes, reductores de velocidad, rayas logarítmicas, etc.)	Ausente
	Velocidad de operación (85 percentil)	120 km/h

**Tabla 3.50. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo”**

Infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo	Uso de suelo	Del lado del conductor	Sin desarrollo
		Del lado del copiloto	Sin desarrollo
	Tipo de área	Rural / área abierta	
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera inspeccionada	Sin infraestructura	
	Calidad de cruce peatonal	No aplica	
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera secundaria	Sin infraestructura	
	Cerca para contener peatones	Ausente	
	Banqueta	Del lado del conductor	Ninguno
		Del lado del copiloto	Ninguno
	Infraestructura para motocicletas	Ninguno	
	Infraestructura para bicicletas	Ninguno	
	Señal de Cuidado, zona escolar	No aplica (ho hay escuela en el lugar)	
	Guardia de cruce en zona escolar	No aplica (ho hay escuela en el lugar)	

Eligiendo las características indicadas en las tablas anteriores para la obtención de la clasificación por estrellas para un primer escenario, el simulador arroja los resultados que se presentan en la Figura 3.28, donde se puede observar que el caso analizado es evaluado con 3 estrellas para los usuarios “ocupantes de vehículos” y 1 estrella para los usuarios “motociclistas” y “peatones”. En el caso de los “ciclistas”, éstos no fueron evaluados ya que no se encontró evidencia de que el tramo sea utilizado por este tipo de usuarios.



**Figura 3.28. Calificación y clasificación por estrellas, escenario 1**

Realizando ahora modificaciones en el atributo mencionado (severidad lateral, objeto-lado copiloto), se observa un claro impacto en el desempeño de seguridad para todos los usuarios. En la Figura 3.29 (escenario 2) se muestra el resultado seleccionado para este atributo la opción “cara vertical agresiva” o “cuneta de drenaje profunda”, ambas situaciones observadas en el caso de estudio.



**Figura 3.29. Calificación y clasificación por estrellas, escenario 2**

De manera similar, modificando ahora el atributo en cuestión por “barrera de seguridad con punta no protegida”, “estructura, edificación o puente rígido” o “rocas grandes  $\geq 20$  cm de alto”, obtenemos un tercer escenario con los resultados que se presentan en la Figura 3.30.

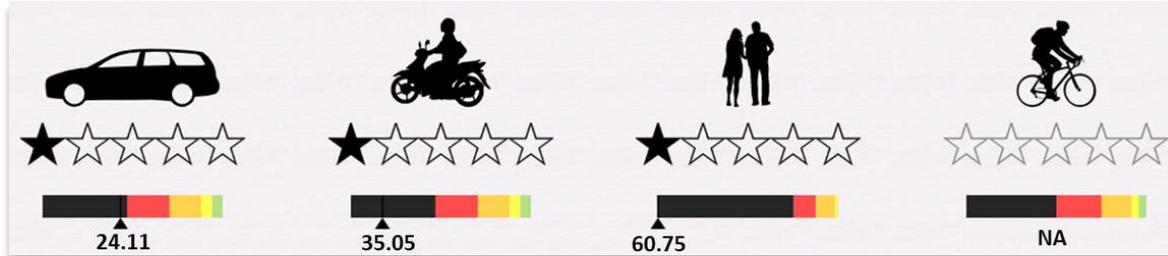


Figura 3.30. Clasificación y clasificación por estrellas, escenario 3

Cabe mencionar que las condiciones del pavimento para este ejemplo se consideraron como “regulares” a partir de los deterioros observados en las imágenes consultadas. Asimismo, la velocidad de operación asignada fue de 120 km/h, valor común para este tipo de vías, sin embargo, para un análisis detallado se recomienda realizar un estudio de velocidades. Por otro lado, se consideró un ancho de carril mayor o igual a 3.25 m, sin embargo, se sugiere revisar en campo pues los carriles se aprecian muy cercanos a este valor frontera para la asignación de este atributo.

Adicionalmente, se encontraron algunos riesgos puntuales entre los que se identifican los siguientes:

- Señalamiento con mensaje cambiante en mal estado.
- Faltan señales informativas de destino previas y decisivas, así como mantenimiento del señalamiento horizontal.
- Presencia de bordillos que podrían desestabilizar un vehículo que intempestivamente abandone la calzada vehicular.
- Pilas de puentes peligrosas ante una posible colisión frontal con éstas.
- Colocación de pequeños segmentos de barrera metálica para protección de obras de drenaje con terminal tipo “cola de pato”, cuya presencia resulta incluso más riesgosa que si se omitiera su colocación, así como inicios de barrera de seguridad metálica con terminal no protegida.
- Carencia de transición entre las barreras metálicas y los parapetos en puentes.
- Peligro de caída a precipicio ante el inicio de la barrera de protección lateral justo en la zona del precipicio, dejando un segmento desprotegido metros antes, donde un vehículo sin control podría caer.

Es fundamental que se mejore el pavimento, determinando si éste presenta problemas estructurales o es sólo la superficie de rodadura la que ha fallado, pues los defectos en el pavimento podrían desestabilizar a los usuarios que transitan por esta carretera. Cabe recordar que existen múltiples riesgos en las zonas laterales

de la vía, ante los cuales una posible salida de la calzada vehicular tendría consecuencias muy severas para los usuarios afectados. Por lo anterior, se recomienda también analizar la posibilidad de eliminar los riesgos laterales, pasando a la alternativa de moverlos si esto no fuera posible y finalmente, como última opción, protegerlos mediante una barrera de seguridad.

Finalmente, se recomienda mejorar las entradas y salidas del parador ubicado en el km 78 para una operación segura del mismo. En las cercanías con este parador, se aprecia evidencia de que los carriles de aceleración para la incorporación a la vía son utilizados como estacionamiento.

### 3.2.5 Autopista Uruapan-Lázaro Cárdenas

La autopista Uruapan-Lázaro Cárdenas forma parte de la autopista Pátzcuaro-Uruapan-Lázaro Cárdenas, también conocida como Autopista Siglo XXI. Esta carretera es parte del ramal a Lázaro Cárdenas del corredor troncal Manzanillo-Tampico, mismo que conecta la costa este y oeste de la República Mexicana. La nomenclatura de su ruta es MEX 037D. Esta carretera es tipo ET2 [DOF, 2015] y de acuerdo con la información contenida en la página web *proyectosmexico.gob.mx*, fue concesionada para su construcción, operación, mantenimiento, conservación y explotación a una empresa privada con vigencia del contrato al 29 de marzo del 2042. La autopista Uruapan-Lázaro Cárdenas tiene una longitud de 215.7 km y de acuerdo con [DGST, 2019] durante el 2018 tuvo un TDPA de hasta 9,672 vehículos en la T. C. Ent. Pátzcuaro-Uruapan (Cuota).

Al igual que el caso anterior, al ser una carretera larga donde las características de sus riesgos llegan a variar considerablemente, para este caso de estudio se eligió solamente un tramo con características geométricas y operacionales similares, el cual comprende del km 132+200 al 154+000. El tramo bajo estudio se compone de una sección transversal de 2 carriles (1 por sentido de circulación) con acotamientos que permiten el rebase por la parte central de la calzada. En la Figura 3.31 se muestra una vista satelital del tramo a analizar.



Figura 3.31. Vista satelital km 132+200 al 154+000 de la autopista Uruapan-Lázaro Cárdenas

Al ser una carretera de un solo cuerpo con un carril por sentido de circulación, el análisis de seguridad no se distingue por sentidos, sino que es general para el tramo.

El tramo de la autopista Uruapan-Lázaro Cárdenas comprendido entre el km 132+200 y 154+000 tiene una estructura de pavimento flexible. Durante el 2018 (información más actual disponible de Datos Viales) circularon en promedio 7,276 vehículos diarios en ambos sentidos, con una participación de poco más del 20% de vehículos destinados al transporte de carga (camiones unitarios y articulados).

De la Figura 3.32 a la Figura 3.36 se presentan vistas de las características de la sección transversal de este tramo, tomadas a partir de la información más reciente disponible en Google Maps.



**Figura 3.32. Imagen sección transversal, vista desde sentido 1 (enero 2019)**



**Figura 3.33. Imagen sección transversal, vista desde sentido 1 (enero 2019)**



Figura 3.34. Imagen sección transversal, vista desde sentido 1 (enero 2019)



Figura 3.35. Imagen sección transversal, vista desde sentido 1 (enero 2019)



Figura 3.36. Imagen sección transversal, vista desde sentido 2 (enero 2019)

Para la elección de las características de los atributos a ingresar en el simulador ViDA se seleccionaron aquellas más representativas del tramo a través de un

recorrido con la herramienta *Google Street View*. De la Tabla 3.51 a la Tabla 3.56 se presentan las opciones seleccionadas para el análisis.

**Tabla 3.51. Selección de atributos en relación al “costado de la vía”**

Costado de la vía	Severidad lateral	Distancia al objeto-lado conductor	1 a < 5 m
		Objeto-lado conductor	Rocas grandes $\geq$ 20 cm alto
		Distancia al objeto-lado copiloto	1 a < 5 m
		Objeto-lado copiloto	Rocas grandes $\geq$ 20 cm alto
	Banda de alerta en el acotamiento	Ausente	
	Acotamiento	Lado del conductor	Medio $\geq$ 1.0 a 2.4m
Lado del copiloto		Medio $\geq$ 1.0 a 2.4m	

**Tabla 3.52. Selección de atributos sobre las “intersecciones”**

Intersecciones	Tipo de intersección	Carril de incorporación
	Canalización de la intersección	Presente
	Volumen de la carretera intersectada	1 - 100
	Calidad de la intersección	Adecuada
	Puntos de acceso a propiedad	1 o 2 accesos residenciales

**Tabla 3.53. Selección de atributos sobre “características de la vía”, tramo 1**

Características de la vía	Etiqueta de calzada	Carretera no dividida
	Costo de modernización	Medio
	Tipo de separador central	Línea central
	Banda de alerta en el centro de la carretera	Ausente
	Número de carriles	Uno
	Ancho de carril	Ancho $\geq$ 3.25m
	Curvatura	Recta o ligeramente curvo
	Calidad de la curva	No aplica
	Pendiente	$\geq$ 0% y < 7.5%
	Condición del camino	Regular
	Resistencia al deslizamiento	Pavimentada - adecuado
	Señalamiento	Deficiente
	Alumbrado público	Ausente
	Estacionamiento para ocupantes de vehículos	Ninguno
Calle de servicio	Ausente	
Obras	Obra menor en proceso	
Distancia de visibilidad	Adecuado	

**Tabla 3.54. Selección de atributos en relación al “flujo”**

Flujo	Flujo vehicular (TDPA)	7,276	
	% motocicletas	1% - 5%	
	Flujo peatonal en hora pico a lo largo de la carretera	Cruzando la carretera	0
		Del lado del conductor	0
		Del lado del copiloto	0
Flujo de bicicletas en hora pico	0		

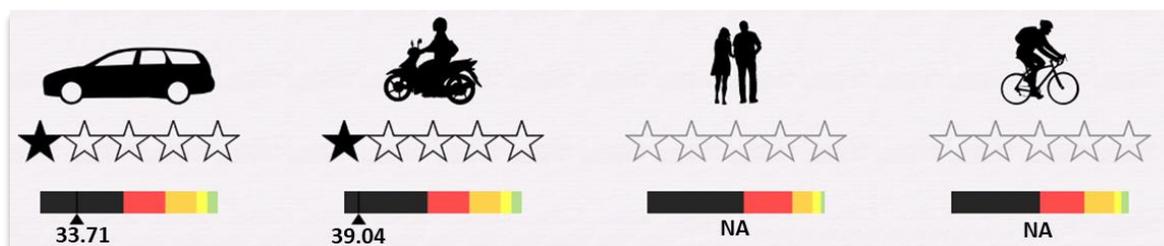
**Tabla 3.55. Selección de atributos en relación a las “velocidades”**

Velocidades	Límite de velocidad	110 km/h
	Límites de velocidad diferenciales	Ausente
	Infraestructura para disminuir velocidad (topes, reductores de velocidad, rayas logarítmicas, etc.)	Ausente
	Velocidad de operación (85 percentil)	110 km/h

**Tabla 3.56. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo”**

Infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo	Uso de suelo	Del lado del conductor	Sin desarrollo
		Del lado del copiloto	Sin desarrollo
	Tipo de área		Rural / área abierta
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera inspeccionada		Sin infraestructura
	Calidad de cruce peatonal		No aplica
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera secundaria		Sin infraestructura
	Cerca para contener peatones		Ausente
	Banqueta	Del lado del conductor	Ninguno
		Del lado del copiloto	Ninguno
	Infraestructura para motocicletas		Ninguno
	Infraestructura para bicicletas		Ninguno
	Señal de Cuidado, zona escolar		No aplica (ho hay escuela en el lugar)
	Guardia de cruce en zona escolar		No aplica (ho hay escuela en el lugar)

Eligiendo las características indicadas en las tablas anteriores para la obtención de la clasificación por estrellas, el simulador arroja los resultados que se presentan en la Figura 3.37, donde se puede observar que el caso analizado es evaluado con 1 estrella para los usuarios “ocupantes de vehículos” y “motociclistas”. En el caso de los “ciclistas” y “peatones”, éstos no fueron evaluados ya que no se encontró evidencia de que el tramo sea utilizado por este tipo de usuarios.



**Figura 3.37. Calificación y clasificación por estrellas**

En este tramo se detectaron riesgos con alto impacto en la seguridad y consecuentemente en la clasificación por estrellas, sobre todo en lo relacionado con la severidad lateral y la velocidad. Por lo anterior, los resultados obtenidos del simulador ViDA caracterizan esta carretera como una con serios problemas de seguridad hacia los usuarios observados (ocupantes de vehículos y motociclistas).

Entre los riesgos identificados se encuentran múltiples peligros en las zonas laterales como terminales de barreras de seguridad metálicas tipo “cola de pato” y aterrizadas, caras verticales agresivas, rocas grandes  $\geq 20$  cm de alto, pilas de puentes, árboles con diámetros superiores a 10 cm, accesos irregulares y en general objetos diversos que representan un riesgo ante una posible colisión frontal con ellos. También se encontraron bahías S.O.S. con pequeños segmentos de barrera metálica con terminales tipo “cola de pato”, ausencia de transición entre barreras metálicas de 2 y 3 crestas e inconsistencias entre el señalamiento vertical y horizontal. Respecto al estado del pavimento, de acuerdo con las imágenes consultadas se observa con deterioro, razón por la cual se asignó una condición del camino “regular”; sin embargo, la resistencia al deslizamiento se seleccionó como “pavimentada – adecuado”.

Por otro lado, sólo la primera parte del tramo cuenta con alertadores de salida o vibradores de banda (del km inicial 132+200 al km 137+000), la mayoría no cuenta con este dispositivo de seguridad y de hecho se fomenta el rebase haciendo uso del acotamiento mediante señalamientos de información general con la leyenda “permita el rebase”.

Cabe mencionar que se encontraron barreras de seguridad cuya altura parece ser muy reducida, se recomienda comprobar que las barreras de seguridad cumplan con un nivel de contención acorde al tipo de vía, TDPA y porcentaje de autobuses y vehículos de carga.

Respecto a la velocidad de operación, la cual tiene un impacto directo en la seguridad y en la clasificación por estrellas, para el análisis de este caso de estudio se asignó un valor igual a la velocidad límite (110 km/h) de acuerdo con el señalamiento vertical, valor que incluso podría ser mayor, por lo cual se recomienda realizar un estudio de velocidades para calcular el valor de este atributo.

Finalmente, al realizar el recorrido por la vía a través de la herramienta “Google Street View”, llama la atención la presencia de múltiples altares a lo largo del tramo, lo cual muestra la ocurrencia de graves siniestros con víctimas mortales.

Para lograr una mejora sustancial en la seguridad vial de este caso de estudio, además de suprimir los riesgos lateral presentes en ambos costados de la vía, se tendría que mejorar el señalamiento (tanto vertical como horizontal y la coherencia entre éstos), el estado del pavimento y reducir la velocidad tanto límite como de operación a máximo 95 km/h. Con estas modificaciones se lograría una clasificación de 3 estrellas al menos para los usuarios ocupantes de vehículos. Cabe resaltar que la velocidad tiene un papel determinante en este tipo de carreteras, dado que los sentidos de circulación no se encuentran protegidos por una barrera física y persiste una considerable probabilidad de ocurrencia de colisiones frontales que pudieran resultar en siniestros con graves consecuencias hacia los usuarios.

### **3.2.6 Carretera Irapuato-Zapotlanejo**

La carretera Irapuato-Zapotlanejo forma parte de la carretera federal libre MEX 090, la cual recorre el centro de la República Mexicana desde la población de Mascota en el estado de Jalisco, hasta Irapuato en el estado de Guanajuato. Es una carretera tipo A4 con una longitud de 237.9 km [DOF, 2015]. De acuerdo con [DGST, 2019], durante el 2018 tuvo un TDPA que fluctuó entre 5,585 en el km 100+000 (T. Izq. Yurécuaro) y 45,824 en el km 2+780 (T. Izq. Querétaro - Irapuato (Cuota)).

De esta carretera se analizó el tramo comprendido entre los kilómetros 27+000 y 50+000, que une las poblaciones de Abasolo y Pénjamo en el estado de Guanajuato. En la Figura 3.38 se presenta una vista satelital de este tramo.



Figura 3.38. Vista satelital km 27+000 a 50+000 de la carretera federal Irapuato-Zapotlanejo

El tramo seleccionado de esta carretera cuenta con 2 carriles por sentido de circulación y presenta, en general, 3 secciones transversales diferentes. La primera se ubica del km 27+000 al 33+400, donde los sentidos de circulación son separados por una barrera central de concreto (ver Figura 3.39 y Figura 3.40); la segunda del km 33+400 al 47+000, donde la sección cambia a dos cuerpos separados por una franja separadora central de ancho variable (ver Figura 3.41 y Figura 3.42); y la tercera del km 47+000 al 50+000, donde se incorpora una barrera de seguridad metálica para separar los sentidos de circulación (ver Figura 3.43). Cabe recordar que las características de la sección transversal de una carretera impactan directamente en su seguridad vial, sobre todo el tipo de separador central, ya que éste influye directamente en la gravedad y probabilidad de ocurrencia de accidentes frontales entre dos vehículos circulando en sentidos opuestos.

Este caso de estudio tiene una estructura de pavimento flexible. Durante el 2018 (información más actual disponible de Datos Viales), circularon alrededor de 11,500 vehículos diarios en cada sentido, con una participación de cerca del 30% de vehículos destinados al transporte de carga (camiones unitarios y articulados).



Figura 3.39. Sección transversal 1, sentido 1 (junio 2018)



Figura 3.40. Sección transversal 1, sentido 2 (junio 2018)



Figura 3.41. Sección transversal 2, sentido 1 (junio 2018)



Figura 3.42. Sección transversal 2, sentido 2 (junio 2018)



Figura 3.43. Sección transversal 3, sentido 1 (mayo 2019)

Debido a la variación en las características de los atributos de este caso de estudio a lo largo de su longitud (sobre todo lo correspondiente a su sección transversal), su análisis se dividirá en dos subtramos, el primero del km 27+000 al 33+400 (coincidiendo con la sección transversal separada por una barrera de seguridad de concreto) y el segundo agrupando las dos secciones comprendidas entre el km 33+400 y 50+000 (sección de cuerpos separados por una franja separadora central y posteriormente sentidos separados por una barrera de seguridad metálica). Este segundo subtramo se considera uniendo dos secciones transversales distintas debido a que la mayoría de sus atributos y su operación es similar, sin embargo, se incluirá un análisis modificando los atributos que difieren y se discutirá el impacto en su seguridad y clasificación por estrellas.

Con respecto al análisis por sentidos de circulación, dado que las características de la carretera en este caso de estudio son prácticamente simétricas, el análisis de cada subtramo agrupará ambos sentidos en conjunto.

### **Km 27+000 al km 33+400**

El primer subtramo de este caso de estudio se compone de una sección transversal de 4 carriles (2 por sentido de circulación), separada por una barrera de seguridad de concreto. Para la elección de las características de los atributos a ingresar en el simulador ViDA se seleccionaron aquellas más representativas a través de un recorrido con la herramienta *Google Street View*. De la Tabla 3.57 a la Tabla 3.62 se presentan las opciones seleccionadas para el análisis conjunto de ambos sentidos.

Tabla 3.57. Selección de atributos en relación al “costado de la vía”

Costado de la vía	Severidad lateral	Distancia al objeto-lado conductor	0 a < 1 m
		Objeto-lado conductor	Barrera de seguridad - Concreto
		Distancia al objeto-lado copiloto	1 a < 5 m
		Objeto-lado copiloto	Inicio de barrera de seguridad con terminal no protegida
	Banda de alerta en el acotamiento		Ausente
	Acotamiento	Lado del conductor	Estrecho $\geq 0$ a 1.0m
		Lado del copiloto	Medio $\geq 1.0$ a 2.4m

**Tabla 3.58. Selección de atributos sobre “características de la vía”**

Características de la vía	Etiqueta de calzada	Cuerpo A de una carretera de cuerpos separados
	Costo de modernización	Medio
	Tipo de separador central	Barrera de seguridad - Concreto
	Banda de alerta en el centro de la carretera	Ausente
	Número de carriles	Dos
	Ancho de carril	Ancho $\geq$ 3.25m
	Curvatura	Recta o ligeramente curvo
	Calidad de la curva	No aplica
	Pendiente	$\geq$ 0% y $<$ 7.5%
	Condición del camino	Bueno
	Resistencia al deslizamiento	Pavimentada - adecuado
	Señalamiento	Deficiente
	Alumbrado público	Ausente
	Estacionamiento para ocupantes de vehículos	Un lado

**Tabla 3.59. Selección de atributos sobre las “intersecciones”**

Intersecciones	Tipo de intersección	Carril de incorporación
	Canalización de la intersección	Presente
	Volumen de la carretera intersectada	100 - 1,000
	Calidad de la intersección	Deficiente
	Puntos de acceso a propiedad	3 o más accesos residenciales

**Tabla 3.60. Selección de atributos en relación al “flujo”**

Flujo	Flujo vehicular (TDPA)	11,500	
	% motocicletas	1% - 5%	
	Flujo peatonal en hora pico a lo largo de la carretera	Cruzando la carretera	1 a 5
		Del lado del conductor	0
		Del lado del copiloto	6 a 25
Flujo de bicicletas en hora pico	6 a 25		

**Tabla 3.61. Selección de atributos en relación a las “velocidades”**

Velocidades	Límite de velocidad	80 km/h
	Límites de velocidad diferenciales	Ausente
	Infraestructura para disminuir velocidad (topes, reductores de velocidad, rayas logarítmicas, etc.)	Presente
	Velocidad de operación (85 percentil)	100 km/h

**Tabla 3.62. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo”**

Infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo	Uso de suelo	Del lado del conductor	Agricultura y ganadería
		Del lado del copiloto	Agricultura y ganadería
	Tipo de área	Urbano / población pequeña	
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera inspeccionada	Infraestructura a desnivel	
	Calidad de cruce peatonal	Adecuado	
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera secundaria	Sin infraestructura	
	Cerca para contener peatones	Ausente	
	Banqueta	Del lado del conductor	Ninguno
		Del lado del copiloto	Ninguno
	Infraestructura para motocicletas	Ninguno	
	Infraestructura para bicicletas	Ninguno	
	Señal de Cuidado, zona escolar	No aplica (ho hay escuela en el lugar)	
	Guardia de cruce en zona escolar	No aplica (ho hay escuela en el lugar)	

Seleccionando las características indicadas en las tablas anteriores para la obtención de la clasificación por estrellas, el simulador arroja los resultados que se presentan en la Figura 3.44, donde se puede observar que el caso analizado es evaluado con 2 estrellas para los usuarios “ocupantes de vehículos”, “motociclistas” y “peatones”, y con 1 estrella para los “ciclistas”.



Figura 3.44. Calificación y clasificación por estrellas km 27+000 a 33+400

En este tramo se encontraron algunos riesgos importantes que impactan en la seguridad, y consecuentemente en la clasificación por estrellas, como salidas e incorporaciones a la vía principal que no están aisladas de los movimientos de la operación local del tránsito, inconsistencias entre el señalamiento horizontal y vertical, tramos de barreras de protección metálica con terminaciones tipo “cola de pato” y discontinuidades tanto en la barrera de seguridad central como lateral. En general, existen múltiples riesgos laterales cercanos como árboles con troncos superiores a 10 cm y construcciones civiles. Específicamente, en el km 27+500 se encuentra una parada de autobús en ambos lados de la vía, donde se permite el cruce a nivel de los peatones a través de una abertura en la barrera de protección central; además, en el km 32+850 se encuentra una abertura en la barrera separadora central que permite movimientos de retorno y vuelta izquierda para acceder a la población de Abasolo.

### km 33+400 a km 50+000

En este segundo subtramo que comprende las secciones con cuerpos separados por franja central y posteriormente una división de los sentidos mediante barrera de protección metálica, la elección de las características de los atributos a ingresar en el simulador ViDA para el análisis conjunto de ambos sentidos se presentan de la Tabla 3.63 a la Tabla 3.68. En las primeras dos tablas se resalta en color rosado las dos características que varían entre estas dos secciones (“severidad lateral, objeto-lado conductor” y “tipo de separador central”), las cuales se modificarán eligiendo “barrera de seguridad – metal” y se presentarán ambos resultados.

Tabla 3.63. Selección de atributos en relación al “costado de la vía”

Costado de la vía	Severidad lateral	Distancia al objeto-lado conductor	1 a < 5 m
		Objeto-lado conductor	Cuneta de drenaje profunda
		Distancia al objeto-lado copiloto	1 a < 5 m
		Objeto-lado copiloto	Inicio de barrera de seguridad con terminal no protegida
	Banda de alerta en el acotamiento		Ausente
	Acotamiento	Lado del conductor	Estrecho $\geq 0$ a 1.0m
Lado del copiloto		Medio $\geq 1.0$ a 2.4m	

**Tabla 3.64. Selección de atributos sobre “características de la vía”**

Características de la vía	Etiqueta de calzada	Cuerpo A de una carretera de cuerpos separados
	Costo de modernización	Medio
	Tipo de separador central	Faja separadora central física de ancho $\geq 5m$ y $<10m$
	Banda de alerta en el centro de la carretera	Ausente
	Número de carriles	Dos
	Ancho de carril	Ancho $\geq 3.25m$
	Curvatura	Recta o ligeramente curvo
	Calidad de la curva	No aplica
	Pendiente	$\geq 0\%$ y $<7.5\%$
	Condición del camino	Bueno
	Resistencia al deslizamiento	Pavimentada - adecuado
	Señalamiento	Deficiente
	Alumbrado público	Ausente
	Estacionamiento para ocupantes de vehículos	Un lado
	Calle de servicio	Ausente
Obras	Sin obras	
Distancia de visibilidad	Adecuado	

**Tabla 3.65. Selección de atributos sobre las “intersecciones”**

Intersecciones	Tipo de intersección	Carril de incorporación
	Canalización de la intersección	Ausente
	Volumen de la carretera intersectada	100 - 1,000
	Calidad de la intersección	Deficiente
	Puntos de acceso a propiedad	1 o 2 accesos residenciales

**Tabla 3.66. Selección de atributos en relación al “flujo”**

Flujo	Flujo vehicular (TDPA)	11,500	
	% motocicletas	1% - 5%	
	Flujo peatonal en hora pico a lo largo de la carretera	Cruzando la carretera	1 a 5
		Del lado del conductor	0
	Del lado del copiloto	6 a 25	
Flujo de bicicletas en hora pico	6 a 25		

**Tabla 3.67. Selección de atributos en relación a las “velocidades”**

Velocidades	Límite de velocidad	110 km/h
	Límites de velocidad diferenciales	Ausente
	Infraestructura para disminuir velocidad (topes, reductores de velocidad, rayas logarítmicas, etc.)	Presente
	Velocidad de operación (85 percentil)	110 km/h

**Tabla 3.68. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo”**

Infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo	Uso de suelo	Del lado del conductor	Agricultura y ganadería
		Del lado del copiloto	Agricultura y ganadería
	Tipo de área	Rural / área abierta	
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera inspeccionada	Infraestructura a desnivel	
	Calidad de cruce peatonal	Adecuado	
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera secundaria	Sin infraestructura	
	Cerca para contener peatones	Ausente	
	Banqueta	Del lado del conductor	Ninguno
		Del lado del copiloto	Ninguno
	Infraestructura para motocicletas	Ninguno	
	Infraestructura para bicicletas	Ninguno	
	Señal de Cuidado, zona escolar	No aplica (ho hay escuela en el lugar)	
Guardia de cruce en zona escolar	No aplica (ho hay escuela en el lugar)		

Ingresando los valores presentados en las tablas anteriores, se obtuvieron las clasificaciones por estrellas para cada usuario. Los resultados para la primera y segunda sección tipo de este subtramo se presentan en la Figura 3.45 y en la Figura 3.46 respectivamente.



Figura 3.45. Clasificación y clasificación por estrellas, km 33+400 a km 47+000



Figura 3.46. Clasificación y clasificación por estrellas, km 47+000 a km 50+000

En las dos figuras anteriores se puede observar que las 2 secciones de este subtramo son evaluadas con 1 estrella para los usuarios “motociclistas” y “ciclistas” y con 2 estrellas para los “peatones”; mientras que para los usuarios “ocupantes de vehículos” la clasificación varía entre 1 y 2 estrellas para la primera y segunda sección respectivamente.

En este subtramo se detectaron varios riesgos que impactan directamente en la seguridad de la vía como: barreras de protección metálica con terminal “cola de pato”, falta de transición entre barreras metálicas y parapetos de puentes, discontinuidad en las barreras, retornos y salidas sin carriles de aceleración y deceleración y señalamiento horizontal fuera de norma. Asimismo, se encontraron riesgos en las zonas laterales como pilas de puentes, postes y árboles con troncos superiores a 10 cm de diámetro que constituyen un riesgo ante un posible choque frontal contra ellos. Además, se observaron obras de drenaje abiertas, cruces con arroyos sin protección y algunos terraplenes con taludes peligrosos.

De acuerdo con los resultados arrojados por el simulador ViDA, la presencia de una cuneta en la franja separadora central (que podría desestabilizar a un vehículo fuera de control que abandone la superficie de rodadura), constituye un mayor riesgo que el caso donde se coloca una barrera de protección metálica. A este respecto, una recomendación es colocar dispositivos de seguridad para proteger o advertir a los usuarios ante una posible salida de la calzada vehicular, como bandas alertadoras o barreras de protección.

En general, a los costados de este caso de estudio se encuentra una considerable presencia de desarrollos, lo cual hace que este tramo sea ampliamente utilizado por el tránsito local. Sin embargo, no existen medidas de seguridad que protejan la interacción entre los usuarios de largo itinerario y los locales. Además, derivado de la atracción de actividades locales en los costados de la carretera, se encuentra una amplia presencia de ciclistas, motociclistas y peatones, sin embargo, no se cuenta con infraestructura destinada a este tipo de usuarios.

Para mejorar la seguridad de este caso de estudio se tendrían que considerar las necesidades de movilidad de la totalidad de los usuarios que interactúan en esta vía, separar físicamente el tránsito local y de largo itinerario, retirar o proteger los peligros presentes a los costados y sobre todo aplicar medidas efectivas para el control de la velocidad.

Cabe aclarar que la velocidad de operación se asignó a partir del señalamiento restrictivo vertical y las condiciones geométricas de la vía, asignando una velocidad de operación de 100 y 110 km/h para el primer y segundo subtramo respectivamente, las cuales se consideran optimistas si es que no se cuenta con un sistema de control de velocidad efectivo en esta zona. Para un análisis detallado se recomienda llevar a cabo un estudio de velocidades que permita determinar la velocidad de operación real del tramo.

### **3.2.7 Libramiento Norte de San Luis Potosí**

El Libramiento Norte de San Luis Potosí, también llamado Libramiento Vicente Rangel Lozano, forma parte del corredor troncal Manzanillo-Tampico, siendo la opción de cuota para librar el paso por la ciudad de San Luis Potosí. La nomenclatura de su ruta es MEX 057D, tiene una longitud de 31 km y su clasificación es tipo A2 [DOF, 2015]. Actualmente este Libramiento es operado por la misma empresa que se encarga del Libramiento Oriente de San Luis Potosí analizado en la Sección 3.2.3.

De acuerdo con [DGST, 2019] durante el 2018 tuvo un TDPA promedio de 4,120 vehículos, considerando ambos sentidos, con una participación de cerca del 50% de vehículos destinados al transporte de carga (camiones unitarios y articulados).

Esta carretera se analizó en su longitud total, del kilómetro 0+000 al 31+000. En la Figura 3.47 se presenta una vista satelital de este libramiento.



Figura 3.47. Vista satelital km 0+000 al 31+000 del Libramiento Norte de San Luis Potosí

El Libramiento Norte de San Luis Potosí cuenta con una estructura de pavimento flexible y su sección transversal está compuesta por 2 carriles (uno por sentido de circulación) con acotamientos en ambos lados. En la Figura 3.48 y Figura 3.49 se presentan vistas características de su sección transversal, tomadas a partir de la información más reciente disponible en Google Maps.



Figura 3.48. Imagen sección transversal, vista desde el sentido 1 (mayo 2019)



Figura 3.49. Imagen sección transversal, vista desde el sentido 2 (mayo 2019)

Al igual que el caso presentado en la Sección 3.2.5, al ser una carretera de un carril por sentido de circulación, el análisis no distingue entre sentidos, sino que es general para el tramo.

Para la elección de las características de los atributos a ingresar en el simulador ViDA se seleccionaron aquellas más representativas del tramo a través de un recorrido con la herramienta *Google Street View*. De la Tabla 3.69 a la Tabla 3.74 se presentan las opciones seleccionadas para el análisis.

Tabla 3.69. Selección de atributos en relación al “costado de la vía”

Costado de la vía	Severidad lateral	Distancia al objeto-lado conductor	1 a < 5 m
		Objeto-lado conductor	Barrera de seguridad - Metal
		Distancia al objeto-lado copiloto	1 a < 5 m
		Objeto-lado copiloto	Barrera de seguridad - Metal
	Banda de alerta en el acotamiento	Ausente	
	Acotamiento	Lado del conductor	Medio $\geq$ 1.0 a 2.4m
Lado del copiloto		Medio $\geq$ 1.0 a 2.4m	

Tabla 3.70. Selección de atributos sobre “características de la vía”

Características de la vía	Etiqueta de calzada	Carretera no dividida
	Costo de modernización	Bajo
	Tipo de separador central	Línea central
	Banda de alerta en el centro de la carretera	Ausente
	Número de carriles	Uno
	Ancho de carril	Ancho $\geq$ 3.25m
	Curvatura	Recta o ligeramente curvo
	Calidad de la curva	No aplica
	Pendiente	$\geq$ 0% y < 7.5%
	Condición del camino	Bueno
	Resistencia al deslizamiento	Pavimentada - adecuado
	Señalamiento	Adecuado
	Alumbrado público	Ausente
	Estacionamiento para ocupantes de vehículos	Ninguno
	Calle de servicio	Ausente
	Obras	Sin obras
Distancia de visibilidad	Adecuado	

Tabla 3.71. Selección de atributos sobre las “intersecciones”

Intersecciones	Tipo de intersección	Carril de incorporación
	Canalización de la intersección	Presente
	Volumen de la carretera intersectada	100 - 1,000
	Calidad de la intersección	Adecuada
	Puntos de acceso a propiedad	Ninguno

Tabla 3.72. Selección de atributos en relación al “flujo”

Flujo	Flujo vehicular (TDPA)	4,120	
	% motocicletas	1% - 5%	
	Flujo peatonal en hora pico a lo largo de la carretera	Cruzando la carretera	0
		Del lado del conductor	0
		Del lado del copiloto	0
Flujo de bicicletas en hora pico	0		

Tabla 3.73. Selección de atributos en relación a las “velocidades”

Velocidades	Límite de velocidad	110 km/h
	Límites de velocidad diferenciales	Ausente
	Infraestructura para disminuir velocidad (topes, reductores de velocidad, rayas logaritmicas, etc.)	Ausente
	Velocidad de operación (85 percentil)	110 km/h

Tabla 3.74. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo”

Infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo	Uso de suelo	Del lado del conductor	Sin desarrollo
		Del lado del copiloto	Sin desarrollo
	Tipo de área	Rural / área abierta	
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera inspeccionada	Sin infraestructura	
	Calidad de cruce peatonal	No aplica	
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera secundaria	Sin infraestructura	
	Cerca para contener peatones	Ausente	
	Banqueta	Del lado del conductor	Ninguno
		Del lado del copiloto	Ninguno
	Infraestructura para motocicletas	Ninguno	
	Infraestructura para bicicletas	Ninguno	
	Señal de Cuidado, zona escolar	No aplica (ho hay escuela en el lugar)	
	Guardia de cruce en zona escolar	No aplica (ho hay escuela en el lugar)	

Eligiendo las características indicadas en las tablas anteriores para la obtención de la clasificación por estrellas, el simulador arroja los resultados que se presentan en la Figura 3.50, donde se puede observar que el caso analizado es evaluado con 3 estrellas para los usuarios “ocupantes de vehículos” y con 1 estrella para los “motociclistas”. En el caso de los “peatones” y “ciclistas”, éstos no fueron evaluados ya que no se encontró evidencia de que el tramo sea utilizado por este tipo de usuarios.

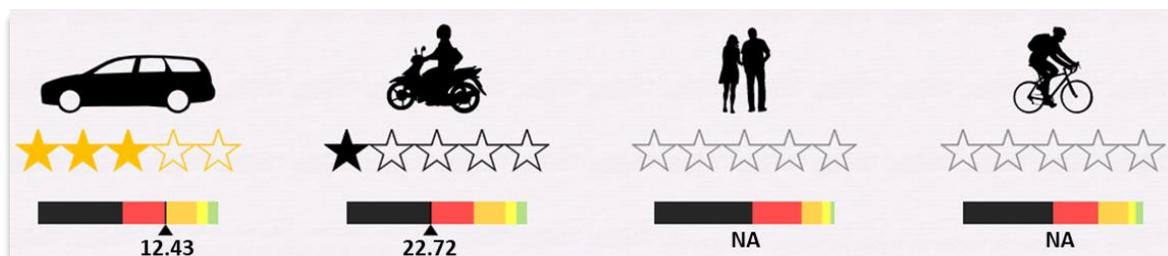


Figura 3.50. Calificación y clasificación por estrellas, Libramiento Norte San Luis Potosí

A pesar de que la carretera tiene una clasificación aceptable en términos de seguridad vial para el usuario “ocupante de vehículo”, se encontraron algunos riesgos que sería importante corregir como: discontinuidad entre amortiguadores de impacto y barrera de seguridad de metal, postes de señalamiento vertical sin protección ante un posible choque frontal contra éste, obras de drenaje abiertas y algunas inconsistencias entre el señalamiento horizontal y vertical en la restricción de rebase.

Por otro lado, si bien la gran mayoría de las terminales de barrera metálica cuentan con dispositivo de protección, se encontraron algunas con terminación tipo “cola de pato”. Es importante mencionar que en carreteras donde los sentidos de circulación no están divididos físicamente, la restricción en el uso de terminales tipo “cola de pato” persiste en ambos costados de la vía, de acuerdo con la NOM-037-SCT2-2012.

Respecto a la velocidad de operación, ésta se asignó con un valor igual a la velocidad límite, la cual de acuerdo con el señalamiento vertical restrictivo es de 110 km/h.

Debido a las características geométricas de esta carretera, se percibe una alta probabilidad de que la velocidad de operación sea superior al límite establecido, por lo cual se sugiere determinar la velocidad de operación actual a través de un estudio de velocidades, y si ésta superara los 110 km/h, se deberían aplicar medidas que inciten a los usuarios a conducir dentro de un rango de velocidades seguras.

Además del control policial de la velocidad, una medida que podría implementarse es la instalación de bandas alertadoras en los acotamientos para evitar su uso en maniobras de rebase, lo cual también ayudaría para alertar a los usuarios distraídos o somnolientos cuando abandonan su carril de circulación. También, para reforzar la prohibición de rebases imprudentes en zonas donde no son permitidos en ambos sentidos, se podrían incorporar bandas alertadoras o delimitadores en el centro de la carretera.

Finalmente, se sugiere demarcar con mayor rigor los movimientos en el paradero ubicado en km 17 (en las cercanías con la caseta de cobro), donde la sección se amplía a 2 carriles por sentido de circulación, para evitar movimientos que pongan en riesgo su operación.

### **3.2.8 Carretera Querétaro-Salamanca**

La carretera Querétaro-Salamanca forma parte de la carretera federal libre MEX 045, también conocida como Carretera Panamericana, la cual conecta el centro de la República Mexicana con la frontera con Estados Unidos, desde Portezuelos en el estado de Hidalgo hasta Cd. Juárez en el estado de Chihuahua. Es una carretera tipo B4 con una longitud de 93.8 km [DOF, 2015]. Su kilómetro 0+000 se encuentra dentro de la mancha urbana de la zona metropolitana de Querétaro, donde durante el 2018 [DGST, 2019] transitaban más de 110 mil vehículos.

De esta carretera se analizó el tramo comprendido entre los kilómetros 13+500 y 26+000, desde el límite entre los estados de Querétaro y Guanajuato hasta poco antes de la desviación a Apaseo el Alto. En la Figura 3.51 se presenta una vista satelital del tramo analizado.

El tramo seleccionado de esta carretera tiene una sección transversal con 4 carriles (2 por sentido de circulación), separados por una barrera de seguridad de concreto. En la Figura 3.52 y la Figura 3.53 se presentan vistas características de su sección, tomadas a partir de Google Maps.



Figura 3.51. Vista satelital km 13+500 a 26+000 de la carretera federal MEX 045 Querétaro-Salamanca



Figura 3.52. Imagen de sección transversal, sentido 1 (noviembre 2019)



Figura 3.53. Imagen de sección transversal, sentido 2 (noviembre 2019)

Tiene una estructura de pavimento flexible y durante el 2018 transitaran alrededor de 18 mil vehículos diariamente en cada sentido por este tramo, con una participación de alrededor del 20% de transporte de carga (camiones unitarios y articulados).

Debido a que las características de este tramo son similares en un sentido y otro, se realizará un solo análisis válido para ambos sentidos de circulación. De este modo, para la elección de las características de los atributos a ingresar en el simulador ViDA, se seleccionaron aquellas más representativas a través de un recorrido con la herramienta *Google Street View*. De la Tabla 3.75 a la Tabla 3.80 se presentan las opciones seleccionadas para el análisis conjunto de ambos sentidos.

**Tabla 3.75. Selección de atributos en relación al “costado de la vía”**

Costado de la vía	Severidad lateral	Distancia al objeto-lado conductor	0 a < 1 m
		Objeto-lado conductor	Barrera de seguridad - Concreto
		Distancia al objeto-lado copiloto	1 a < 5 m
		Objeto-lado copiloto	Inicio de barrera de seguridad con terminal no protegida
	Banda de alerta en el acotamiento	Ausente	
	Acotamiento	Lado del conductor	Estrecho $\geq 0$ a 1.0m
Lado del copiloto		Medio $\geq 1.0$ a 2.4m	

**Tabla 3.76. Selección de atributos sobre “características de la vía”**

Características de la vía	Etiqueta de calzada	Cuerpo A de una carretera de cuerpos separados
	Costo de modernización	Medio
	Tipo de separador central	Barrera de seguridad - Concreto
	Banda de alerta en el centro de la carretera	Ausente
	Número de carriles	Dos
	Ancho de carril	Ancho $\geq 3.25$ m
	Curvatura	Recta o ligeramente curvo
	Calidad de la curva	No aplica
	Pendiente	$\geq 0\%$ y $< 7.5\%$
	Condición del camino	Bueno
	Resistencia al deslizamiento	Pavimentada - adecuado
	Señalamiento	Adecuado
	Alumbrado público	Ausente
	Estacionamiento para ocupantes de vehículos	Un lado
	Calle de servicio	Ausente
Obras	Obra mayor en proceso	
Distancia de visibilidad	Adecuado	

**Tabla 3.77. Selección de atributos sobre las “intersecciones”**

Intersecciones	Tipo de intersección	Carril de incorporación
	Canalización de la intersección	Presente
	Volumen de la carretera intersectada	100 - 1,000
	Calidad de la intersección	Deficiente
	Puntos de acceso a propiedad	3 o más accesos residenciales

**Tabla 3.78. Selección de atributos en relación al “flujo”**

Flujo	Flujo vehicular (TDPA)	18,000	
	% motocicletas	1% - 5%	
	Flujo peatonal en hora pico a lo largo de la carretera	Cruzando la carretera	1 a 5
		Del lado del conductor	0
	Del lado del copiloto	6 a 25	
Flujo de bicicletas en hora pico	1 a 5		

**Tabla 3.79. Selección de atributos en relación a las “velocidades”**

Velocidades	Límite de velocidad	90 km/h
	Límites de velocidad diferenciales	Ausente
	Infraestructura para disminuir velocidad (topes, reductores de velocidad, rayas logarítmicas, etc.)	Presente
	Velocidad de operación (85 percentil)	100 km/h

**Tabla 3.80. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo”**

Infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo	Uso de suelo	Del lado del conductor	Industrial y manufacturero
		Del lado del copiloto	Industrial y manufacturero
	Tipo de área	Rural / área abierta	
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera inspeccionada	Infraestructura a desnivel	
	Calidad de cruce peatonal	Adecuado	
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera secundaria	Sin infraestructura	
	Cerca para contener peatones	Ausente	
	Banqueta	Del lado del conductor	Ninguno
		Del lado del copiloto	Ninguno
	Infraestructura para motocicletas	Ninguno	
	Infraestructura para bicicletas	Ninguno	
	Señal de Cuidado, zona escolar	No aplica (ho hay escuela en el lugar)	
	Guardia de cruce en zona escolar	No aplica (ho hay escuela en el lugar)	

Seleccionando las características indicadas en las tablas anteriores para la obtención de la clasificación por estrellas, el simulador arroja los resultados que se presentan en la Figura 3.54, donde se puede observar que el caso analizado es evaluado con 2 estrellas para los usuarios “ocupantes de vehículos”, “motociclistas” y “peatones”, y con 1 estrella para los “ciclistas”.



**Figura 3.54. Clasificación y clasificación por estrellas km 13+500 a 26+000**

En el tramo analizado en este caso de estudio actualmente existe una importante interacción entre el tránsito de largo itinerario y el tránsito local, el cual es atraído por los diversos desarrollos que se localizan en esta zona. Se identificaron múltiples accesos a caminos locales, industrias, desarrollos residenciales, restaurantes, deshuesaderos de autos, accesos particulares e incluso comercios informales a pie

de carretera. Esta situación genera un alto riesgo para todos los usuarios presentes en la vía.

Entre las situaciones de riesgo que más repercuten en la clasificación por estrellas de este tramo destacan los riesgos laterales, en especial los que se encuentran más próximos al carril de circulación externo, como lo son los inicios de barrera de seguridad de metal tipo “cola de pato”. Otros riesgos que se identificaron en las zonas laterales son: pilas de puentes, postes de alumbrado, árboles con diámetros superiores a 10 cm, discontinuidades entre las barreras de protección metálicas y construcciones civiles muy próximas a la vía.

Adicionalmente, se encontraron aberturas de la barrera central de concreto, algunas de las cuales coinciden con paradas de autobuses, lo que sugiere que estos espacios son utilizados por peatones para cruzar de un lado a otro de la carretera; así como discontinuidades más prolongadas en esta barrera central que permiten movimientos de retorno, e incluso de vuelta izquierda donde coinciden con vialidades locales. Estos sitios funcionan como una intersección, pero sin el diseño y equipamiento que por seguridad y operación requerirían, permitiendo que los usuarios realicen maniobras peligrosas.

Respecto a la velocidad de operación, ésta se asignó de 100 km/h, la cual se considera modesta para una carretera con una sección transversal como ésta, y sobre todo donde no existe un control estricto de la velocidad. Se recomienda llevar a cabo un estudio de velocidades que permita determinar el valor exacto de este parámetro.

Para mejorar la seguridad de este caso de estudio, además de eliminar los riesgos laterales y separar la operación del tránsito de largo itinerario del local, se tendrían que aplicar medidas que garanticen una velocidad de operación segura para las condiciones existentes; así como considerar las necesidades de movilidad de todos los usuarios (vehículos particulares, de carga, autobuses, motociclistas, ciclistas y peatones).

### **3.2.9 Carretera San Miguel de Allende-Ojuelos de Jalisco**

La carretera San Miguel de Allende-Ojuelos de Jalisco forma parte de la carretera federal libre MEX 051, la cual discurre de norte a sur entre los estados de Guerrero, Michoacán y Guanajuato. Es una carretera tipo B2 con una longitud de 146 km [DOF, 2015].

De esta carretera se analizó el tramo comprendido entre los kilómetros 144 y 173, el cual conecta las poblaciones de San Felipe y Ocampo en el estado de Guanajuato. En la Figura 3.55 se presenta una vista satelital de este tramo.

De acuerdo con [DGST, 2019] durante el 2018 en este tramo transitó un TDPA promedio de alrededor de 3,200 vehículos (considerando ambos sentidos de

circulación), con una participación del 22% de vehículos destinados al transporte de carga (camiones unitarios y articulados).

Este tramo presenta una estructura de pavimento flexible, con una sección transversal compuesta por 2 carriles (uno por sentido de circulación) sin acotamientos. En la Figura 3.56 se presenta una vista de las características de su sección transversal, tomadas a partir de la información más reciente disponible en Google Maps.



Figura 3.55. Vista satelital km 144+000 al 173+000 de la carretera San Miguel de Allende - Ojuelos



Figura 3.56. Imagen sección transversal, vista hacia el sentido 2 (noviembre 2016)

Al igual que los casos presentados en las secciones 3.2.5 y 3.2.7, al ser una carretera de un carril por sentido de circulación, el análisis mediante la herramienta ViDA de iRAP es uno solo para ambos sentidos de circulación.

Para la elección de las características de los atributos a ingresar en el simulador ViDA se seleccionaron aquellas más representativas del tramo a través de un

recorrido con la herramienta *Google Street View*. De la Tabla 3.81 a la Tabla 3.86 se presentan las opciones seleccionadas para el análisis.

**Tabla 3.81. Selección de atributos en relación al “costado de la vía”**

Costado de la vía	Severidad lateral	Distancia al objeto-lado conductor	1 a < 5 m
		Objeto-lado conductor	Árbol ≥ 10 cm
		Distancia al objeto-lado copiloto	1 a < 5 m
		Objeto-lado copiloto	Árbol ≥ 10 cm
	Banda de alerta en el acotamiento	Ausente	
Acotamiento	Lado del conductor	Ninguno	
	Lado del copiloto	Ninguno	

**Tabla 3.82. Selección de atributos sobre “características de la vía”**

Características de la vía	Etiqueta de calzada	Carretera no dividida	
	Costo de modernización	Bajo	
	Tipo de separador central	Línea central	
	Banda de alerta en el centro de la carretera	Ausente	
	Número de carriles	Uno	
	Ancho de carril	Ancho ≥ 3.25m	
	Curvatura	Recta o ligeramente curvo	
	Calidad de la curva	No aplica	
	Pendiente	≥ 0% y < 7.5%	
	Condición del camino	Malo	
	Resistencia al deslizamiento	Pavimentada - regular	
	Señalamiento	Deficiente	
	Alumbrado público	Ausente	
	Estacionamiento para ocupantes de vehículos	Ninguno	
	Calle de servicio	Ausente	
Obras	Sin obras		
Distancia de visibilidad	Adecuado		

**Tabla 3.83. Selección de atributos sobre las “intersecciones”**

Intersecciones	Tipo de intersección	Carril de incorporación	
	Canalización de la intersección	Ausente	
	Volumen de la carretera intersectada	1 - 100	
	Calidad de la intersección	Deficiente	
	Puntos de acceso a propiedad	1 o 2 accesos residenciales	

**Tabla 3.84. Selección de atributos en relación al “flujo”**

Flujo	Flujo vehicular (TDPA)	3,200		
	% motocicletas	1% - 5%		
	Flujo peatonal en hora pico a lo largo de la carretera	Cruzando la carretera	1 a 5	
		Del lado del conductor	1 a 5	
		Del lado del copiloto	1 a 5	
Flujo de bicicletas en hora pico	1 a 5			

**Tabla 3.85. Selección de atributos en relación a las “velocidades”**

Velocidades	Límite de velocidad	80 km/h	
	Límites de velocidad diferenciales	Ausente	
	Infraestructura para disminuir velocidad (topes, reductores de velocidad, rayas logarítmicas, etc.)	Ausente	
	Velocidad de operación (85 percentil)	80 km/h	

**Tabla 3.86. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo”**

Infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo	Uso de suelo	Del lado del conductor	Agricultura y ganadería
		Del lado del copiloto	Agricultura y ganadería
	Tipo de área	Rural / área abierta	
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera inspeccionada	Sin infraestructura	
	Calidad de cruce peatonal	No aplica	
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera secundaria	Sin infraestructura	
	Cerca para contener peatones	Ausente	
	Banqueta	Del lado del conductor	Ninguno
		Del lado del copiloto	Ninguno
	Infraestructura para motocicletas	Ninguno	
	Infraestructura para bicicletas	Ninguno	
	Señal de Cuidado, zona escolar	Señalización estática o demarcación horizontal en zona escolar	
	Guardia de cruce en zona escolar	No presente	

Eligiendo las características indicadas en las tablas anteriores para la obtención de la clasificación por estrellas, el simulador arroja los resultados que se presentan en la Figura 3.57, donde se puede observar que el caso analizado es evaluado con sólo 1 estrella para los usuarios “ocupantes de vehículos”, “motociclistas” y “peatones”; y con 2 estrellas para los “ciclistas”.



**Figura 3.57. Calificación y clasificación por estrellas, km 144 a 173 de la carretera San Miguel de Allende-Ojuelos de Jalisco**

Durante el recorrido virtual por el tramo analizado en este caso de estudio se encontraron varios peligros que repercuten fuertemente en su seguridad y, por lo tanto, en su clasificación por estrellas. Entre los riesgos localizados se encuentra la falta de mantenimiento en general, con notable deterioro de la superficie de rodamiento y del señalamiento, así como abundante vegetación a los costados. Respecto a las zonas laterales, se encontraron elementos de riesgo muy próximos a la calzada vehicular como: árboles con diámetros superiores a 10 cm, un par de postes tipo puente (para arco con radares de velocidad y señalamiento turístico), segmentos de barrera de seguridad metálica sin protección en su inicio, obras de drenaje y paso por arroyos sin protección lateral adecuada, terraplenes con talud no traspasable y cortes con caras verticales peligrosas.

El tramo analizado discurre por un entorno con actividades agrícolas, con varios asentamientos cercanos y múltiples intersecciones con caminos de terracería, así como accesos a propiedades privadas.

En el km 149+200 se identificó una escuela a pie de carretera, la cual muy probablemente da servicio a la población dispersa en los alrededores, atrayendo a

estudiantes que deben cruzar la carretera o caminar por sus costados. Al respecto, sólo se encontró 1 señalamiento preventivo advirtiendo sobre cruce de escolares en cada sentido de circulación, haría falta reforzar la advertencia sobre esta zona escolar para incitar a los conductores a disminuir su velocidad.

Respecto a la velocidad de operación, ésta se asignó con un valor igual a la velocidad límite, la cual de acuerdo con el señalamiento vertical restrictivo es de 80 km/h. Cabe mencionar que la velocidad de operación en este tramo podría ser superior al límite establecido por lo cual, para un análisis detallado, se recomienda realizar un estudio de velocidades y determinar el valor exacto de este parámetro dada su fuerte influencia en la seguridad.

Otro aspecto relevante es que se encontraron varios altares que evidencian la ocurrencia de siniestros graves en la zona.

Ha de tenerse mucha atención a las mejoras posibles para este caso de estudio, pues cualquiera que incite a los usuarios a elevar su velocidad resultará en un incremento de la siniestralidad. Las medidas de mejora que se planteen en este tramo deberán ir encaminadas a controlar, dentro de un rango seguro, la velocidad a la que transitan los usuarios “conductores de vehículos” y reducir la severidad de los riesgos a los costados de la vía.

Cabe mencionar que a pesar del deterioro del señalamiento tanto horizontal como vertical, un aspecto positivo es que la carretera no se encontró saturada de señales innecesarias.

Se recomienda revisar la clasificación de esta carretera para definir claramente su función, con el fin de plantear las medidas de mejora para la infraestructura en ese sentido. Finalmente, además de mejorar la infraestructura, se recomienda una campaña de sensibilización y educación vial a la población cercana, dado que es común que en poblaciones pequeñas como las que se encuentran cercanas a este caso de estudio se subestimen factores de riesgo como la velocidad, la conducción bajo los efectos del alcohol y el manejo de vehículos motores por menores de edad.

### **3.2.10 Carretera León-Aguascalientes**

La carretera León-Aguascalientes forma parte de la carretera federal libre MEX 045, también conocida como Carretera Panamericana, la cual conecta el centro de la República Mexicana con la frontera con Estados Unidos, desde Portezuelos en el estado de Hidalgo hasta Cd. Juárez en el estado de Chihuahua.

De acuerdo con [DOF, 2015], la clasificación oficial de esta carretera varía a lo largo de sus 129 kilómetros de longitud, siendo tipo B en el tramo de León a Lagos de Moreno (44 kilómetros), tipo C de Lagos de Moreno al entronque Salvador (58 kilómetros) y tipo ET4 del entronque Salvador a Aguascalientes (27 kilómetros).

De esta carretera se analizó el tramo comprendido entre los kilómetros 51 y 83, que unen las poblaciones de Lagos de Moreno y Encarnación de Díaz en el estado de

Jalisco. Durante el 2018 [DGST, 2019] transitaron alrededor 5,500 vehículos diariamente (considerando ambos sentidos de circulación), de los cuales 26% correspondieron a vehículos de carga (camiones unitarios y articulados). En la Figura 3.58 se presenta una vista satelital del tramo analizado.



**Figura 3.58. Vista satelital km 51+000 a 83+000 de la carretera federal MEX 045 León-Aguascalientes**

El tramo seleccionado de esta carretera tiene una sección transversal de 2 carriles (1 por sentido de circulación) sin acotamientos, con una estructura de pavimento flexible. En la Figura 3.59 se presenta una vista característica de su sección, tomadas a partir de Google Maps.



**Figura 3.59. Imagen de sección transversal, sentido 2 (octubre 2019)**

Como se ha explicado en casos anteriores, debido a que se trata de una carretera con un carril por sentido de circulación, la clasificación por estrellas mediante la metodología iRAP se realiza una sola vez considerando ambos sentidos de circulación.

Para la elección de las características de los atributos a ingresar en el simulador ViDA se seleccionaron aquellas más representativas del tramo a través de un recorrido con la herramienta *Google Street View*. De la Tabla 3.87 a la Tabla 3.92 se presentan las opciones seleccionadas para el análisis.

**Tabla 3.87. Selección de atributos en relación al “costado de la vía”**

Costado de la vía	Severidad lateral	Distancia al objeto-lado conductor	1 a < 5 m
		Objeto-lado conductor	Rocas grandes $\geq$ 20 cm alto
		Distancia al objeto-lado copiloto	1 a < 5 m
		Objeto-lado copiloto	Rocas grandes $\geq$ 20 cm alto
	Banda de alerta en el acotamiento	Ausente	
	Acotamiento	Lado del conductor	Estrecho $\geq$ 0 a 1.0m
Lado del copiloto		Estrecho $\geq$ 0 a 1.0m	

**Tabla 3.88. Selección de atributos sobre “características de la vía”**

Características de la vía	Etiqueta de calzada	Carretera no dividida
	Costo de modernización	Bajo
	Tipo de separador central	Línea central
	Banda de alerta en el centro de la carretera	Ausente
	Número de carriles	Uno
	Ancho de carril	Ancho $\geq$ 3.25m
	Curvatura	Recta o ligeramente curvo
	Calidad de la curva	No aplica
	Pendiente	$\geq$ 0% y <7.5%
	Condición del camino	Regular
	Resistencia al deslizamiento	Pavimentada - regular
	Señalamiento	Deficiente
	Alumbrado público	Ausente
	Estacionamiento para ocupantes de vehículos	Ninguno
	Calle de servicio	Ausente
Obras	Sin obras	
Distancia de visibilidad	Adecuado	

**Tabla 3.89. Selección de atributos sobre las “intersecciones”**

Intersecciones	Tipo de intersección	Carril de incorporación
	Canalización de la intersección	Ausente
	Volumen de la carretera intersectada	1 - 100
	Calidad de la intersección	Deficiente
	Puntos de acceso a propiedad	1 o 2 accesos residenciales

**Tabla 3.90. Selección de atributos en relación al “flujo”**

Flujo	Flujo vehicular (TDPA)	5,473	
	% motocicletas	1% - 5%	
	Flujo peatonal en hora pico a lo largo de la carretera	Cruzando la carretera	0
		Del lado del conductor	0
		Del lado del copiloto	0
Flujo de bicicletas en hora pico	0		

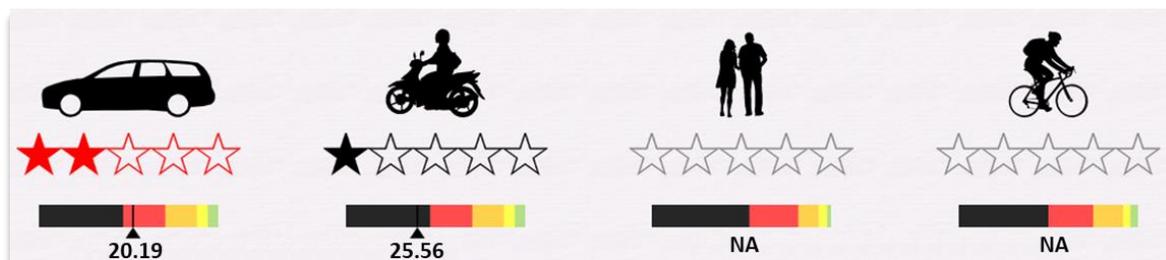
**Tabla 3.91. Selección de atributos en relación a las “velocidades”**

Velocidades	Límite de velocidad	80 km/h
	Límites de velocidad diferenciales	Ausente
	Infraestructura para disminuir velocidad (topes, reductores de velocidad, rayas logarítmicas, etc.)	Ausente
	Velocidad de operación (85 percentil)	80 km/h

**Tabla 3.92. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo”**

Infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo	Uso de suelo	Del lado del conductor	Sin desarrollo
		Del lado del copiloto	Sin desarrollo
	Tipo de área		Rural / área abierta
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera inspeccionada		Sin infraestructura
	Calidad de cruce peatonal		No aplica
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera secundaria		Sin infraestructura
	Cerca para contener peatones		Ausente
	Banqueta	Del lado del conductor	Ninguno
		Del lado del copiloto	Ninguno
	Infraestructura para motocicletas		Ninguno
	Infraestructura para bicicletas		Ninguno
	Señal de Cuidado, zona escolar		No aplica (no hay escuela en el lugar)
	Guardia de cruce en zona escolar		No presente

Eligiendo las características indicadas en las tablas anteriores para la obtención de la clasificación por estrellas, el simulador arroja los resultados que se presentan en la Figura 3.60, donde se puede observar que el caso analizado es evaluado con 2 estrellas para los usuarios “ocupantes de vehículos” y con 1 estrella para los “motociclistas”. En el caso de los “peatones” y “ciclistas”, éstos no fueron evaluados ya que no se encontró evidencia de que el tramo es utilizado por este tipo de usuarios.



**Figura 3.60. Calificación y clasificación por estrellas, km 51 a 83 de la carretera León-Aguascalientes**

En el tramo analizado en este caso de estudio se encontraron algunos riesgos que repercuten en su seguridad y consecuentemente en su clasificación por estrellas. Entre los riesgos identificados se encuentran algunas obras de drenaje sin protección adecuada, abundante vegetación a los costados, terraplenes no traspasables y, aunque son pocas las barreras de protección metálica instaladas en el tramo, las que se encontraron no cuentan con protección en sus terminales o tienen terminales tipo “cola de pato”. Asimismo, se encontró un par de señalamientos elevados cuyos postes representan un riesgo ante un posible impacto frontal contra ellos y parapetos en una alcantarilla cuyo diseño no contendrían la posible salida de un vehículo.

En general, se encontraron varios accesos a caminos de terracería y a viviendas particulares.

A lo largo del tramo examinado se encontraron señalamientos para la restricción de velocidad de 50, 60 y 80 km/h. Para el análisis, la velocidad de operación se asignó

igual al valor de la velocidad límite superior (80 km/h). Para un análisis detallado se recomienda realizar un estudio de velocidades, pues es muy probable que el valor de este parámetro sea superior.

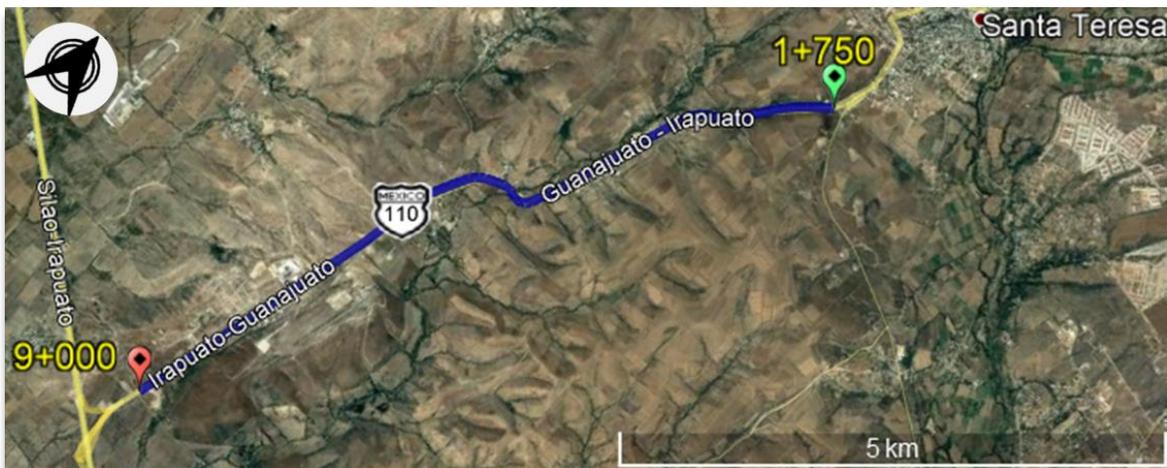
El tramo de este caso de estudio requiere mantenimiento general de su pavimento y señalamiento, evitando la colocación de señales que no sean necesarias.

Es importante mencionar que, al igual que en el estudio de caso anterior, la incorporación de mejoras en la infraestructura debe contemplar la influencia de éstas sobre la velocidad de operación, pues medidas de mejora que incrementen la velocidad a la que circulan los conductores sin contemplar los riesgos laterales generará un incremento en la ocurrencia de siniestros viales. Las medidas de mejora deberán incluir consideraciones que inciten a los conductores a transitar dentro de un rango de velocidades seguras compatibles con las condiciones prevalecientes en el tramo.

### 3.2.11 Carretera Guanajuato-Silao

La carretera Guanajuato-Silao forma parte de la carretera federal libre MEX 110, la cual tiene un trazo discontinuo, con tramos en los estados de Guanajuato, Michoacán, Jalisco y Colima. De acuerdo con [DOF, 2015], la clasificación oficial de esta carretera es tipo D.

De esta carretera se analizó el tramo comprendido entre los kilómetros 1+750 y 9+000, que va desde la comunidad de Santa Teresa (a las afueras de la ciudad de Guanajuato capital) al entronque con la carretera MEX 045. En la Figura 3.61 se presenta una vista satelital del tramo analizado.



**Figura 3.61. Vista satelital km 1+750 a 9+000 de la carretera federal MEX 110 Guanajuato-Silao**

Durante el 2018 [DGST, 2019] transitaban 9,514 vehículos diariamente (considerando ambos sentidos de circulación), de los cuales cerca del 8% correspondió a vehículos de carga (camiones unitarios y articulados).

El tramo seleccionado de esta carretera tiene una sección transversal de 2 carriles (1 por sentido de circulación) sin acotamientos, con una estructura de pavimento flexible. En la Figura 3.62 y Figura 3.63 se presenta una vista característica de su sección, tomadas a partir de Google Maps.



Figura 3.62. Imagen de sección transversal, vista sentido 1 (mayo 2019)



Figura 3.63. Imagen de sección transversal, vista sentido 1 (mayo 2019)

Al ser una vía de un carril por sentido, la clasificación por estrellas mediante la metodología iRAP se realiza una sola vez considerando ambos sentidos de circulación.

Para la elección de las características de los atributos a ingresar en el simulador ViDA se seleccionaron aquellas más representativas del tramo a través de un recorrido con la herramienta *Google Street View*. De la Tabla 3.93 a la Tabla 3.98 se presentan las opciones seleccionadas para el análisis.

**Tabla 3.93. Selección de atributos en relación al “costado de la vía”**

Costado de la vía	Severidad lateral	Distancia al objeto-lado conductor	5 a < 10 m
		Objeto-lado conductor	Árbol ≥ 10 cm
		Distancia al objeto-lado copiloto	5 a < 10 m
		Objeto-lado copiloto	Árbol ≥ 10 cm
	Banda de alerta en el acotamiento	Ausente	
	Acotamiento	Lado del conductor	Estrecho ≥ 0 a 1.0m
Lado del copiloto		Estrecho ≥ 0 a 1.0m	

**Tabla 3.94. Selección de atributos sobre “características de la vía”**

Características de la vía	Etiqueta de calzada	Carretera no dividida
	Costo de modernización	Bajo
	Tipo de separador central	Línea central
	Banda de alerta en el centro de la carretera	Ausente
	Número de carriles	Uno
	Ancho de carril	Medio ≥ 2.75m y < 3.25m
	Curvatura	Recta o ligeramente curvo
	Calidad de la curva	No aplica
	Pendiente	≥ 0% y < 7.5%
	Condición del camino	Bueno
	Resistencia al deslizamiento	Pavimentada - adecuado
	Señalamiento	Adecuado
	Alumbrado público	Ausente
	Estacionamiento para ocupantes de vehículos	Un lado
Calle de servicio	Ausente	
Obras	Sin obras	
Distancia de visibilidad	Adecuado	

**Tabla 3.95. Selección de atributos sobre las “intersecciones”**

Intersecciones	Tipo de intersección	Carril de incorporación
	Canalización de la intersección	Ausente
	Volumen de la carretera intersectada	1 - 100
	Calidad de la intersección	Deficiente
	Puntos de acceso a propiedad	1 o 2 accesos residenciales

**Tabla 3.96. Selección de atributos en relación al “flujo”**

Flujo	Flujo vehicular (TDPA)	9,514	
	% motocicletas	1% - 5%	
	Flujo peatonal en hora pico a lo largo de la carretera	Cruzando la carretera	1 a 5
		Del lado del conductor	1 a 5
		Del lado del copiloto	1 a 5
Flujo de bicicletas en hora pico	0		

**Tabla 3.97. Selección de atributos en relación a las “velocidades”**

Velocidades	Límite de velocidad	80 km/h
	Límites de velocidad diferenciales	Ausente
	Infraestructura para disminuir velocidad (topes, reductores de velocidad, rayas logarítmicas, etc.)	Ausente
	Velocidad de operación (85 percentil)	80 km/h

**Tabla 3.98. Selección de atributos en relación a la “infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo”**

Infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo	Uso de suelo	Del lado del conductor	Sin desarrollo
		Del lado del copiloto	Sin desarrollo
	Tipo de área	Rural / área abierta	
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera inspeccionada	Sin infraestructura	
	Calidad de cruce peatonal	No aplica	
	Infraestructura de cruce peatonal en carretera secundaria	Sin infraestructura	
	Cerca para contener peatones	Ausente	
	Banqueta	Del lado del conductor	Ninguno
		Del lado del copiloto	Ninguno
	Infraestructura para motocicletas	Ninguno	
	Infraestructura para bicicletas	Ninguno	
	Señal de Cuidado, zona escolar	No aplica (no hay escuela en el lugar)	
	Guardia de cruce en zona escolar	No presente	

Eligiendo las características indicadas en las tablas anteriores para la obtención de la clasificación por estrellas, el simulador arroja los resultados que se presentan en la Figura 3.64, donde se puede observar que el caso analizado es evaluado con 3 estrellas para los usuarios “ocupantes de vehículos” y “motociclistas”, y con 1 estrella para los “peatones”. Sobre los “ciclistas”, éstos no se evaluaron dado que no se encontró evidencia de que el tramo sea utilizado por este tipo de usuarios, aunque debido a que la carretera conecta pequeñas localidades, es probable que haya usuarios de este tipo en algunas zonas.



**Figura 3.64. Calificación y clasificación por estrellas, km 1+750 a 9+000 de la carretera Guanajuato-Silao**

El tramo analizado tiene una buena clasificación de seguridad para “ocupantes de vehículo” y “motociclistas” debido a que discurre por una zona mayoritariamente despejada. Sin embargo, se encontraron algunas zonas con riesgos laterales cercanos a la calzada vehicular como: terraplenes no traspasables, árboles con diámetros superiores a 10 cm, barreras de seguridad de metal con terminaciones tipo “cola de pato” y estacionamiento a los costados de la vía. Cabe mencionar que el análisis se realizó con una velocidad de operación de 80 km/h, tomando como referencia el señalamiento de limitación de velocidad mayor (se observaron señales de 60 y 80 km/h). Si la velocidad de operación fuese superior, la clasificación por estrellas se vería afectada.

Por otra parte, la zona con mayor riesgo se detectó entre el kilómetro 3+000 y 5+400, donde la carretera atraviesa por pequeñas poblaciones. El trazo en esta zona coincide con curvas horizontales, situación que potencia la ocurrencia de

accidentes ante la presencia de accesos a comercios y viviendas a pie de carretera, así como la convivencia con peatones.

Asimismo, a un costado de la carretera se localiza un edificio del INIFEG (Instituto de Infraestructura Física Educativa de Guanajuato), el cual atrae a conductores que estacionan sus vehículos en ambos lados de la carretera. Esta situación representa un gran riesgo por la incorporación y salida de vehículos, así como el tránsito de las personas que atraviesan la vía. Se recomienda adaptar carriles de acceso y salida para la operación segura de este sitio, así como la habilitación de estacionamiento al interior del recinto, evitando que los usuarios estacionen a pie de carretera.

Para evitar la ocurrencia de accidentes en el tramo analizado en este caso de estudio, se recomienda aislar la operación de los usuarios de las localidades que atraviesa la carretera, sobre todo de los peatones, evitando el estacionamiento al costado de la vía; o bien, adaptar la configuración de la carretera para incorporarla de manera segura en la movilidad de dichas poblaciones, incluyendo medidas que disminuyan la velocidad de los conductores hasta un rango seguro que no ponga en riesgo la convivencia entre los diferentes tipos de usuarios. Adicionalmente, se recomienda colocar dispositivos de protección en las zonas con riesgos laterales muy próximos a la calzada vehicular, donde su eliminación no sea posible, así como pavimentar las conexiones con los caminos de terracería para agilizar los movimientos de acceso y salida.

## 4. Hallazgos relevantes

---

Derivado del análisis de los casos de estudio presentados en la Sección 3.2, donde se eligieron carreteras de diferentes tipos de acuerdo con su clasificación normativa, se encontró que esta clasificación no tiene una relación directa con la seguridad vial de la infraestructura. Lo anterior, en términos de su clasificación por estrellas a través de la metodología iRAP. En este sentido, una carretera puede ser segura o insegura, independientemente de si se trata de una carretera tipo ET o D.

Se observó que unos de los factores que más influyen en la clasificación de la seguridad de una carretera tienen que ver con: i) el tipo de objeto o situación que se encuentra en los costados de la vía (lado conductor y copiloto), ii) la distancia entre estos objetos o situaciones y los carriles por los que transitan los conductores de vehículos de motor y iii) la velocidad de operación. Con base en lo anterior, una carretera será clasificada con los estándares más bajos de seguridad (asignación de estrellas iRAP) cuando su velocidad de operación sea alta y presente características de alto riesgo próximas a los carriles de circulación.

En los siguientes incisos se explicará la influencia de estos importantes factores: severidad lateral (objeto y distancia) y velocidad, en la seguridad de la infraestructura vial y consecuentemente en su clasificación por estrellas.

### 4.1 Severidad lateral (objeto y distancia)

La severidad lateral influye notoriamente en la calificación y clasificación por estrellas de la seguridad de una vía de acuerdo con la metodología iRAP. La severidad lateral es tomada en cuenta con base en dos parámetros: el tipo de *objeto* o situación que se localiza al costado de la vía y la *distancia* entre este objeto o situación y el espacio donde circulan los conductores de vehículos de motor. Así pues, la combinación de estos dos factores definirá el nivel de riesgo que la severidad lateral representa.

La *distancia* mencionada en el párrafo anterior es considerada por rangos, en las primeras dos filas de la Tabla 4.1 se presentan las categorías que considera actualmente iRAP. Resulta evidente que entre menor sea el rango de separación entre la situación presente a los costados de la vía y el espacio destinado para la circulación de los conductores de vehículos de motor, mayor será la afectación en la seguridad.

Por otro lado, y retomando lo descrito en la Sección 2.2, iRAP contempla 17 situaciones “*objetos*” que pueden presentarse a los costados de la vía. De igual manera, en la Tabla 4.1 se presentan las opciones que actualmente considera iRAP en relación con el tipo de objeto localizado en la zona lateral.

**Tabla 4.1. Atributos respecto a la severidad lateral (costado de la vía)**

		0 a < 1 m	1 a < 5 m	5 a < 10 m	≥ 10 m	
<b>Severidad lateral</b>	Distancia al objeto lado conductor					
	Distancia al objeto lado copiloto					
	Objeto lado conductor	Barrera de seguridad		1. Metal		
				2. Concreto		
				3. Amigable para motociclistas		
				4. Cables		
		5. Cara vertical agresiva				
	Corte con pendiente ascendente		6. Gradiente para rodar sobre éste			
			7. Gradiente para no rodar sobre éste			
		8. Cuneta de drenaje profunda				
		9. Terraplén				
		10. Precipicio				
	Objeto lado copiloto		11. Árbol ≥ 10 cm			
			12. Señal, poste o polo ≥ 10 cm			
			13. Estructura, edificación o puente rígido			
			14. Estructura o edificación semi rígidos			
			15. Inicio de barrera de seguridad con terminal no protegida			
		16. Rocas grandes ≥ 20 cm alto				
		17. Ninguno				

Con base en el análisis de los casos de estudio presentados en esta publicación, y los resultados que arroja el simulador ViDA, en la Tabla 4.2 se presentan las opciones respecto a los “objetos” (tanto del lado conductor como del lado copiloto) en orden de importancia de acuerdo con su impacto en el deterioro de la seguridad.

**Tabla 4.2. Riesgo atribuible a los “objetos” laterales**

<b>Riesgo</b>	- seguro	<b>Precipicio</b>
		<b>Árbol ≥ 10 cm</b>
		<b>Señal, poste o polo ≥ 10cm</b>
		<b>Estructura, edificación o puente rígido</b>
		<b>Inicio de barrera de seguridad con terminal no protegida</b>
		<b>Rocas grandes ≥ 20 cm alto</b>
		<b>Cara vertical agresiva</b>
		<b>Cuneta de drenaje profunda</b>
		<b>Corte con pendiente ascendente gradiente para rodar sobre éste</b>
		<b>Terraplén</b>
		<b>Corte con pendiente ascendente gradiente para no rodar sobre éste</b>
		<b>Estructura o edificación semi rígidos</b>
		<b>Barrera de seguridad de concreto</b>
		<b>Barrera de seguridad de metal</b>
		<b>Barrera de seguridad amigable para motociclistas</b>
	+ seguro	<b>Barrera de seguridad de cables</b>
	<b>Ninguno</b>	

Tabla 4.3. Peligros laterales a la vía

#	Distancia	Objeto lateral	#	Distancia	Objeto lateral
1	Cualquiera	Precipicio	32	5 a <10m	Terraplén
2	0 a <1m	Árbol $\geq 10$ cm	33	0 a <1m	Barrera de seguridad – concreto
3	0 a <1m	Señal, poste o polo $\geq 10$ cm	34	5 a <10m	Corte con pendiente ascendente gradiente para no rodar sobre
4	0 a <1m	Estructura, edificación o puente rígido	35	0 a <1m	Barrera de seguridad – metal
5	0 a <1m	Inicio de barrera de seguridad con terminal no protegida	36	0 a <1m	Barrera de seguridad amigable para motociclistas
6	0 a <1m	Rocas grandes $\geq 20$ cm alto	37	1 a <5m	Barrera de seguridad – concreto
7	0 a <1m	Cara vertical agresiva	38	5 a <10m	Estructura o edificación semi rígidos
8	0 a <1m	Cuneta de drenaje profunda	39	1 a <5m	Barrera de seguridad – metal
9	1 a <5m	Árbol $\geq 10$ cm	40	1 a <5m	Barrera de seguridad amigable para motociclistas
10	1 a <5m	Señal, poste o polo $\geq 10$ cm	41	0 a <1m	Barrera de seguridad – cables
11	1 a <5m	Estructura, edificación o puente rígido	42	1 a <5m	Barrera de seguridad – cables
12	1 a <5m	Inicio de barrera de seguridad con terminal no protegida	43	$\geq 10$ m	Árbol $\geq 10$ cm
13	1 a <5m	Rocas grandes $\geq 20$ cm alto	44	$\geq 10$ m	Señal, poste o polo $\geq 10$ cm
14	0 a <1m	Corte con pendiente ascendente gradiente para rodar sobre éste	45	$\geq 10$ m	Estructura, edificación o puente rígido
15	0 a <1m	Terraplén	46	$\geq 10$ m	Inicio de barrera de seguridad con terminal no protegida
16	1 a <5m	Cara vertical agresiva	47	$\geq 10$ m	Rocas grandes $\geq 20$ cm alto
17	1 a <5m	Cuneta de drenaje profunda	48	$\geq 10$ m	Cara vertical agresiva
18	0 a <1m	Corte con pendiente ascendente gradiente para no rodar sobre	49	$\geq 10$ m	Cuneta de drenaje profunda
19	1 a <5m	Corte con pendiente ascendente gradiente para rodar sobre éste	50	5 a <10m	Barrera de seguridad – concreto
20	1 a <5m	Terraplén	51	$\geq 10$ m	Corte con pendiente ascendente gradiente para rodar sobre éste
21	1 a <5m	Corte con pendiente ascendente gradiente para no rodar sobre	52	$\geq 10$ m	Terraplén
22	0 a <1m	Estructura o edificación semi rígidos	53	5 a <10m	Barrera de seguridad – metal
23	1 a <5m	Estructura o edificación semi rígidos	54	5 a <10m	Barrera de seguridad amigable para motociclistas
24	5 a <10m	Árbol $\geq 10$ cm	55	$\geq 10$ m	Corte con pendiente ascendente gradiente para no rodar sobre
25	5 a <10m	Señal, poste o polo $\geq 10$ cm	56	$\geq 10$ m	Sin objetos
26	5 a <10m	Estructura, edificación o puente rígido	57	5 a <10m	Barrera de seguridad – cables
27	5 a <10m	Inicio de barrera de seguridad con terminal no protegida	58	$\geq 10$ m	Estructura o edificación semi rígidos
28	5 a <10m	Rocas grandes $\geq 20$ cm alto	59	$\geq 10$ m	Barrera de seguridad – concreto
29	5 a <10m	Cara vertical agresiva	60	$\geq 10$ m	Barrera de seguridad – metal
30	5 a <10m	Corte con pendiente ascendente gradiente para rodar sobre éste	61	$\geq 10$ m	Barrera de seguridad amigable para motociclistas
31	5 a <10m	Cuneta de drenaje profunda	62	$\geq 10$ m	Barrera de seguridad – cables

Fuente: [iRAP, 2019]

Debido a que la severidad lateral depende tanto de la situación que tenemos a los costados de la vía como de su separación con los carriles de circulación, existe una interacción entre estos dos factores para definir el riesgo que representa cada situación. En la Tabla 4.3 se presenta una guía incluida en el *Manual de Codificación* [iRAP, 2019], en la cual se presentan enumerados (de mayor a menor riesgo) las situaciones actualmente contempladas en las zonas laterales en combinación con la separación usuario-objeto.

De acuerdo con lo anterior, el hecho de tener un precipicio sin protección a un costado de la vía, cataloga en automático este camino con bajos estándares de seguridad.

## **4.2 Impacto de la velocidad**

Las innovaciones en la industria automotriz de las últimas décadas han sido sorprendentes, mejorando en muchos sentidos el diseño y desempeño de los vehículos de motor. A su vez, esta transformación en la industria automotriz ha hecho que los vehículos sean cada vez más accesibles para la población en general, incrementando su participación e importancia en la movilidad de las personas. Actualmente sería difícil imaginar la forma en que nos trasladamos sin la existencia de los automóviles. Sin embargo, no todos los fenómenos que ha traído la popularización del uso de los vehículos motores han sido positivos, pues también ha incorporado nuevos problemas como la contaminación, la saturación de las vías de comunicación y la siniestralidad vial.

En relación con los siniestros viales, los automóviles actuales cada vez desarrollan velocidades mayores, sin embargo, las capacidades humanas no han evolucionado con la misma rapidez; nuestra visión y capacidad de respuesta es prácticamente la misma que hace 100 años, cuando las velocidades que alcanzaban los vehículos eran muy inferiores a las actuales. De esto deriva la importancia de considerar la velocidad como una limitante en el diseño y operación de las carreteras.

La velocidad es un factor elemental al momento de concebir una carretera, de ella dependen las características geométricas y requerimientos técnicos sobre los elementos físicos.

Al hablar de velocidad, es importante saber que existen diferentes tipos de ellas, de acuerdo con su uso en la ingeniería de vías terrestres y tránsito, entre las que se encuentran las siguientes:

- i. Velocidad de proyecto: velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular con seguridad sobre un camino. Se utiliza para determinar elementos geométricos como: grados de curvatura, longitudes críticas de pendientes longitudinales, distancias de visibilidad (de parada, de rebasamiento o de encuentro) y sobreelevaciones en curva. Su selección depende del tipo de camino a proyectar, el tipo de terreno en que se desarrolla y de los niveles de servicio que se proporcionarán.

- ii. Velocidad de punto: velocidad de un vehículo a su paso por un punto del camino. Los valores usuales para estimarla son el promedio de las velocidades de punto de todos los vehículos, o de una clase establecida.
- iii. Velocidad de marcha: velocidad de un vehículo en un tramo, obtenida al dividir la distancia recorrida entre el tiempo en el cual estuvo en movimiento. Se determina como el cociente de la suma de las distancias recorridas por todos los vehículos (o por un grupo determinado de ellos) entre la suma de los tiempos correspondientes.
- iv. Velocidad de operación: máxima velocidad a la cual un vehículo puede viajar en un tramo de un camino bajo las condiciones prevalecientes de tránsito y atmosféricas favorables. El cálculo de esta velocidad se obtiene a través del percentil 85 de la velocidad de punto. Ésta es la que se utiliza para clasificar la seguridad de una carretera en operación mediante la metodología iRAP

La velocidad tiene una relación directamente proporcional con la probabilidad de ocurrencia y gravedad de un siniestro vial. Si un conductor incrementa su velocidad hasta un rango que no le permita percibir el entorno que rodea la vía y sobre todo reaccionar ante una situación imprevista, la probabilidad de que se suscite un percance se incrementa exponencialmente. Por otro lado, cuando la ocurrencia de un siniestro es inminente, la gravedad del mismo se eleva igualmente de manera exponencial, al transformarse la energía cinética que la velocidad transfiere al vehículo en deformaciones y afectaciones a los órganos internos de las personas, esto al momento de detenerse intempestivamente.

Por todo lo anterior, es imposible hablar de seguridad vial sin incluir el tema de la velocidad. En cualquier método de evaluación o clasificación de la seguridad vial, la velocidad tomará un papel determinante, influyendo considerablemente en los resultados.

### 4.3 Otras variables importantes

Además de los factores mencionados en los incisos anteriores, otros atributos que tienen un fuerte impacto en la calificación por estrellas de la seguridad vial son:

1. Existencia de banda de alerta en el acotamiento, atributo incluido en las características del “costado de la vía”.
2. Tipo de separador central, ancho de carril y resistencia al deslizamiento, atributos incluidos en las “características de la vía”.
3. Volumen de la carretera intersecada y calidad de la intersección, atributos incluidos en las características de las “intersecciones”.

La metodología utilizada por iRAP favorece notoriamente la clasificación por estrellas de las carreteras que incorporan bandas de alerta en el acotamiento externo (también conocidas como alertadores de salida o vibradores de banda).

Estos dispositivos de seguridad ofrecen un mecanismo de alerta a los usuarios conductores de vehículos de motor a través de vibración y sonido, lo cual ayuda a corregir la trayectoria ante una posible salida del camino. Diversas investigaciones a nivel internacional han concluido que las bandas de alerta en los acotamientos externos ayudan importantemente en la disminución de accidentes, sobre todo en los ocurridos durante la noche. Cabe mencionar que estos dispositivos de seguridad se recomiendan en carreteras cuyos trazos incorporan rectas prolongadas, donde el conductor tiende a reducir su atención ante situaciones monótonas o consideradas “sencillas”, lo cual le produce aburrimiento o incluso somnolencia. Por otro lado, no se recomienda su instalación en carreteras con trazos sinuosos o de alta montaña, ya que en este tipo de carreteras el usuario por lo general va más atento a la conducción y las velocidades de operación son menores.

Respecto al ancho de carril, la metodología iRAP incluye este atributo de acuerdo con tres rangos: ancho ( $\geq 3.25$  m), medio ( $\geq 2.75$  m y  $< 3.25$  m) y estrecho ( $< 2.75$  m). La clasificación por estrellas se ve favorecida si el ancho de la carretera evaluada se encuentra dentro de un rango de dimensión mayor. Sin embargo, es importante mencionar que la velocidad de operación (cuyo impacto en la clasificación por estrellas es superior en comparación con este atributo), también es influida por el ancho del carril. Al respecto, entre mayor sea el ancho del carril, el usuario percibe un mayor confort hacia el incremento de su velocidad, por lo cual esta correlación debe tenerse muy en cuenta al momento de plantear medidas de mejora donde un aumento en la velocidad de operación de los conductores se vería reflejado en un incremento de la siniestralidad.

Por otro lado, la resistencia al deslizamiento tiene una influencia directamente proporcional con la seguridad vial en una carretera. Si no se cuenta con un coeficiente de fricción adecuado entre la superficie del pavimento y los neumáticos de los vehículos de motor, cualquier cambio repentino en la dirección o paso por curvas horizontales podría resultar en percances que saquen al vehículo del camino, o incluso ocasionar un vuelco.

La presencia de intersecciones donde el volumen de la carretera intersecada es considerable afecta notoriamente la clasificación por estrellas para los motociclistas. Además, si a esto se le añade la identificación de la calidad de la intersección como “deficiente”, la clasificación para los usuarios ocupantes de vehículos también es afectada. Las intersecciones que no cuentan con un adecuado diseño y señalización pueden tomar por sorpresa a los conductores los cuales, al verse en una situación inesperada, podrían tomar una mala decisión o entrar en conflicto con el movimiento de otros usuarios.

Finalmente, un importante hallazgo con alto impacto en la seguridad general de la Red Carretera Federal es que de acuerdo con la clasificación marcada en [DOF, 1994] y su actualización mediante [DOF, 2015], las características geométricas de algunas carreteras no corresponden con lo que se indica en el *Manual de Proyecto Geométrico* [DGST, 2018], es decir, su tipificación normativa no es consistente con las características de su diseño geométrico.

## Conclusiones

---

Sin lugar a duda el tema de la velocidad está íntimamente ligado a la seguridad vial. Al respecto, para que una carretera opere de manera segura es muy importante que haya compatibilidad entre la velocidad deseada por los conductores y la velocidad segura de acuerdo con las condiciones prevalecientes en la vía (geométricas, operativas y de equipamiento físico). La velocidad que “desean” los conductores es la que estos perciben como “segura”, en relación con su experiencia previa y las características que distinguen visualmente.

En una carretera existente la velocidad de operación a la que circulan los conductores de vehículos de motor no es una variable que funcione de manera aislada, pues es influida de manera muy importante por las características generales del camino, en particular por la sección transversal ya que ésta modula las expectativas de los usuarios respecto a la función de la carretera. Por ello, cada elemento del diseño geométrico (alineamiento horizontal, alineamiento vertical, sección transversal y la coherencia entre éstos) y equipamiento debe ser compatible con la función de la carretera, que determinará la velocidad deseada por los conductores. Adicionalmente, si en una red vial no existe un control efectivo de la velocidad y las características de la carretera incitan a los conductores a desarrollar velocidades superiores a las de proyecto, en estas vías serán frecuentes los accidentes por “exceso de velocidad”. Si a lo anterior se incorporan zonas laterales con alta severidad, no sería una sorpresa que los siniestros viales con consecuencias graves se presenten.

De acuerdo con [DGST, 2018], las características geométricas de una carretera dependen de su tipo (clasificación normativa). Sin embargo, con base en lo observado en los análisis de los casos de estudio presentados en la Sección 3.2, actualmente muchas carreteras en operación tienen una clasificación normativa que no es compatible con sus características geométricas. Incluso, existen importantes carreteras clasificadas como tipo “C” con una sección transversal de 4 carriles (2 por sentido de circulación), cuando de acuerdo con [DOF, 1994] y [DGST, 2018], este tipo de carreteras deberían tener sólo un carril por sentido. A este respecto, es muy probable que situaciones como estas se presenten en carreteras que han tenido ampliaciones de su sección transversal, pero sin modificar las características geométricas de su alineamiento horizontal y vertical. Estos casos en particular provocan que los usuarios perciban la carretera como una con mayores estándares de seguridad, en relación a las velocidades que pueden desarrollar.

Respecto al seccionamiento de la red de caminos existentes del país (en particular la Red Carretera Federal), cada dependencia encargada de su planeación, administración, mantenimiento, operación, regulación, vigilancia, emisión de

normativa, etc. tiene variaciones en la manera en que identifican cada tramo. Esto complica cumplir con el objetivo que tiene una clasificación y propicia la existencia de rutas conformadas por tramos con diferentes características. Esta situación constituye un peligro para la seguridad en la operación de cualquier camino, por lo cual es altamente recomendable uniformizar la manera en que se divide la Red Carretera Federal y definir sus “tipos” de acuerdo con las características geométricas, físicas y operativas, considerando su función. Asimismo, se recomienda ampliamente trabajar en la uniformización de tramos, tanto en su clasificación funcional, administrativa y de seguridad.

Es muy importante que las carreteras, tanto a nivel proyecto como las que ya se encuentran operando, sean clasificadas con criterios claros para que, como lo indica el mismo *Manual de Proyecto Geométrico* [DGST, 2018], puedan ser agrupadas de acuerdo a sus “características físicas y sus funciones”. Esta claridad en los criterios de clasificación no sólo es importante para definir los elementos de diseño de un camino, sino para su operación, mantenimiento, administración y entendimiento por parte de los usuarios.

En cuanto a la categorización de las carreteras de acuerdo con su seguridad vial, la clasificación por estrellas castiga mucho la presencia de situaciones de alto riesgo en las zonas laterales cercanas a los carriles de circulación como, por ejemplo: precipicios, árboles y postes (de señales elevadas o de cableado) con diámetros superiores a 10 cm, obstáculos rígidos (estructuras, edificaciones o pilas de puentes), inicios de barrera de seguridad con terminal no protegida y rocas grandes (superiores a 20 cm de alto). Corrigiendo sistemáticamente estos riesgos, sobre todo los que se encuentren a menos de 10 metros del carril de circulación más próximo, se logrará mejorar significativamente la clasificación por estrellas y consecuentemente la seguridad de la vía.

Cabe mencionar que, en general, se observó una relajación en los estándares de seguridad y cumplimiento de normas en las carreteras libres de peaje de la Red Carretera Federal.

Adicionalmente, se debe prestar atención al análisis de las condiciones de riesgo puntales en la vía, pues si se observa sólo la clasificación global por estrellas se podría dar el caso de que se ignoren situaciones de riesgo aisladas. Por ejemplo, si una carretera tiene clasificación de 4 estrellas en el 80% de su longitud y de 1 estrella en el 20% restante, la presencia de riesgos en un pequeño tramo propiciaría la aparición de constantes siniestros viales, al no tener una uniformidad en el recorrido.

Finalmente, no hay secretos para mejorar la seguridad de una carretera, es simplemente cuestión de evitar colocar peligros próximos a la vía, considerando la interacción de la velocidad con las capacidades humanas. La metodología iRAP castiga en la calificación por estrellas las vías que presentan riesgos evidentes antes un siniestro que es posible considerando el “error humano”, así como cualquier característica que propicia choques frontales.

## Bibliografía

---

BELTRÁN, G. (2008). Indicadores de seguridad de la infraestructura viaria en los accidentes por salida de vía. Revisión de la velocidad límite. <<https://rno-its.piarc.org/es/control-de-la-red-seguridad-vial/seguridad-de-los-usuarios-viales-vulnerables>> Visitado el 19 de mayo del 2020.

BULL, Alberto (2003). Congestión del tránsito el problema y cómo enfrentarlo. Santiago de Chile.

CADENGO, M, Casanova, W. A., Mendoza A. (2019). Recomendaciones de seguridad para zonas de obra. Nota núm. 178, mayo-junio 2019, artículo 4. Instituto Mexicano del Transporte.

CHANG, C. M. (2010). Guía para la ubicación, selección y diseño de barreras de seguridad vial. Impreso en Projects D&D Los Brillantes 555 Of. 412. Lima, Perú.

CUEVAS, A. C., Mayoral, F. E. y Mendoza, A (2019). Anuario estadístico de accidentes en carreteras federales 2018. Documento Técnico No. 77. Instituto Mexicano del Transporte.

Diario Oficial de la Federación (1994). Reglamento sobre el peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal.

Diario Oficial de la Federación (2011). Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas. Norma Oficial Mexicana NOM-034-SCT2-2011.

Diario Oficial de la Federación (2015). AVISO por el que se modifica la clasificación de las carreteras, previstas en el Apéndice 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.

Dirección General de Servicios Técnicos (2014). Manual de señalización vial y dispositivos de seguridad. Sexta edición.

Dirección General de Servicios Técnicos (2018). Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. Tercera edición.

Dirección General de Servicios Técnicos (2019). Datos viales 2018. <[www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/datos-viales](http://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/datos-viales)>

DORADO M. L., Cadengo, M, Casanova, W. A., Mendoza, A. (2019). Medidas de mejora para problemas de seguridad vial en la infraestructura. Publicación Técnica No. 563. Instituto Mexicano del Transporte.

DORADO M. L., Cadengo, M, Casanova, W. A. Mendoza, A. (2018). Recomendaciones para la inspección de seguridad vial de carreteras existentes. Publicación Técnica No. 522. Instituto Mexicano del Transporte.

FLÓREZ, C. F. (2009). Incidencia de las características geométricas y de tránsito de vías en alta montaña y de bajas especificaciones geométricas sobre la accidentalidad "Caso plan 2500: Departamento del Quindío". Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá Colombia.

GALLO, A. C., Castillo, G. M. (2018). Análisis de las condiciones de seguridad vial ligadas a temas de infraestructura en las vías rápidas de Bogotá. Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia.

GÓMEZ, M. C., Escobar, D. A., Urazán, C. F. (2017). Relación técnica entre seguridad vial, accidentalidad y lineamientos de diseño geométrico, estudio de caso: Vía Manizales-Neira (Colombia). Vol. 38 (Nº 46).

International Road Assessment Programme iRAP (2019). Manual de codificación del iRAP. Versión 5.0

LEÓN, E., Pumares, A., Guaña, J., Loayza, P., Naranjo, D., Salgado, N. (2019). Análisis de causas de accidentes de tránsito en el Ecuador utilizando minería de datos. Páginas 540-547. Iberian Journal of Information Systems and Technologies.

MATAMOROS, G. Elementos que participan en la incidencia de accidentes de Tránsito. <<http://creandoconciencia.org.ar/enciclopedia/accidentologia/relevamiento-de-rastros/elementos-que-participan-en-la-incidencia-de-accidentes-de-transito.pdf>>

MAYORAL, E. F., Cuevas, A. C., Pérez, J. G., Mendoza, A. (2015). Análisis de la siniestralidad de los usuarios vulnerables en Carreteras Federales. Publicación Técnica No. 453. Instituto Mexicano del Transporte.

MENDOZA, A, Mayoral, E. F., Quintero, F. L. (2002). Algunas consideraciones de seguridad para el proyecto geométrico de carreteras. Publicación Técnica No. 217. Instituto Mexicano del Transporte.

PALMA, J. A. (2012). Análisis de riesgo y vulnerabilidad en proyectos de carreteras. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil. Guatemala.

PIROTA, M. D. (2007). La señalización vial y su impacto actual sobre el principio de confianza en la normalidad o seguridad del tráfico. Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera, ISSN 0212-6389, N°. 151, 2007, págs. 100-102.



# COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



**Km 12+000 Carretera Estatal 431 “El Colorado Galindo”**  
Parque Tecnológico San Fandila, Mpio. Pedro Escobedo,  
Querétaro, México. C.P. 76703  
Tel: +52 (442) 216 97 77 ext. 2610  
Fax: +52 (442) 216 9671

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

<http://www.imt.mx/>